



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

NIKLAS RABB  
PIENOISSORVIN SUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Ellman  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
1.3.2017

## TIIVISTELMÄ

**NIKLAS RABB:** Pienoissorvin suunnittelu

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 92 sivua

Huhtikuu 2017

Konetekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Konetekniikka

Tarkastaja: professori Asko Ellman

**Avainsanat:** pienoissorvi, sorvaus, tee-se-itse, työstö

Tämä työ on konkreettinen tuotekehitystyö, jossa suunnitellaan ja toteutetaan omakustanteinen pienoissorvi CNC-jyrsimen ja sorvin avulla S355 rakenneteräksestä. Työn pienoissorvi pystyy työstämään halkaisijaltaan Ø100mm puuta, Ø50mm muovia ja alumiinia.

Uutuusarvoa suunnittelulle pienoissorville tuo sen monipuolisuus, koska sitä pystyy käyttämään sekä puu- että metallisorvina helposti vaihdettavan taltantuen ja teränpitimen avulla. Se on yhteensopiva useiden eri teränvarsien kanssa, omaa monta aihion kiinnitysratkaisua, sen Z- ja X-akseli sekä myös kärkipylkkä ovat johtoruuveilla liikuteltavia ja karapylkän vetopäähän pystyy valitsemaan mieleisensä teholuokan moottorin.

Työssä käytetään konstruktiivista tutkimusotetta, tiedonkeruumenetelminä kirjallisuustutkimusta ja havainnointia sekä koneen rakentamisessa käydään läpi suunnittelumenetelmänä Pahl'in ja Beitz'in konstruktio-oppia.

Kirjoitelmassa esitetään teoriaa sorvien rakenteista, sorvauksesta, turvallisuudesta ja suunnitteluteknisistä ominaisuuksista. Työ on visuaalispainotteinen ja esitetty siinä laajuudessa, että työssä esitetyn pienoissorvin pystyy ammattitaitoinen lukija koneistamaan itsenäisesti käyttäen mittapiirustuksia hyödyksi.

Valitsin tämän aiheeksi, koska pidin mielenkiintoisena saada aikaiseksi monipuolisen pienoissorvin, joka on edullinen, laadukas, tehokas, modulaarinen ja vähän tilaa vievä kokonaisuus. Tutkimuskysymyksenä oli luoda tällaisten tavoitteiden mukainen pienoissorvi.

Tulokseksi saatiin tutkielma, jossa esitetään valmistetun pienoissorvin luonnostelua, toteutunutta rakennetta, ominaisuuksia ja käyttöä. Materiaalikustannuksia työn pienoissorville tulee n.100-200e, fyysiset mitat ovat 230x205x900mm ja paino n.30kg. Tämä tekee siitä edullisen tehokkaan tilankäyttäjän ja kevyenä sitä pystyy helposti kuljettamaan mukana paikasta toiseen.

## ABSTRACT

**NIKLAS RABB:** Development of a Small Lathe

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 92 pages

April 2017

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

Major: Production Engineering

Examiner: Professor Asko Ellman

**Keywords:** small lathe, turning, do it yourself, machining

This work is a concrete research and design project where an own cost small lathe is designed and produced by CNC-lathe and mill from S355 structural steel. Produced small lathe can turn wood up to Ø100mm as well as aluminium and plastic up to Ø50mm.

The novelty value of this versatile lathe is that it can be used both as a wood lathe and as a metal lathe with easily interchangeable tool rest and tool post. The lathe is compatible with many different tool holders. The lathe's spindle can utilize multiple fastening solutions to attach the work piece with. All the lathe's carriage directions X and Z are movable with lead screws including also the tailstock. Users can choose their own motor for the lathe without limiting it.

During the research a constructivism viewpoint is used. Literature research and perception are used as data collection methods. Also Pahl and Beitz's systematic construction theory is used as a design guide.

The study explains theory about lathes' constructions, turning, safety and other common technical properties included in the process. The study is visually oriented and presented to such an extent that a skilled machinist reader can produce a similar lathe on his own by reading this study.

Subject was chosen because I think it is interesting to produce a small lathe that is versatile, high quality, modular, cost effective and space-saving at the same time. The research question therefore is to successfully design a small lathe that fulfills such requirements.

As a result the produced small lathe is shown and its structure, properties and usage is documented. The lathe's material costs are 100-200e. Its physical dimensions are 230x205x900mm and weight about 30kg. These properties make the lathe a powerful tool and an effective space saver which is still portable and can be used to carry around.

## ALKUSANAT

On ollut pitkä aika elämässäni tulla tähän pisteeseen. Aikaisemmat tutkintoni ovat olleet suurena apuna suorittaessani tätä tutkintoa. Kiitän täten alkuun VAMK:n, VAKK:n ja TTY:n kouluttajia, joiden ansiosta olen oppinut paljon valmistuksesta ja suunnittelusta.

Haasteita teknillisellä alalla on useita. Tekniikan kehittyminen on nopeaa ja uusia erikoistumisaloja syntyy tulevaisuudessa yhä lisää. Alana erityisesti tekniikka suosii laajaa ja jatkuvaa opiskelua, jotta nopeissa teknologisissa muutoksissa pysyy mukana.

Esitän kiitokset perheelleni ja erityiskiitokset työn ohjaajalle Asko Ellman:lle sekä Tampereen teknilliselle yliopistolle tämän muuntokoulutuksen järjestämisestä Seinäjoella, jonka kautta on minulle ja muille osallistujille annettu mahdollisuus sen työn ohessa suorittamiseen.

A handwritten signature in black ink. The name 'Niklas' is written in a cursive script, with the 'N' being particularly large and stylized. Below the 'N', the year '2017' is written. The name 'Rabb' is written in a similar cursive style to the right of the year.

Vähässäkyrössä, 12.4.2017

Niklas Rabb

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Aiheen määrittäminen .....	1
1.2	Työn tavoitteet, vaatimukset ja tutkimusmenetelmät.....	1
1.3	Työn rakenne.....	2
2.	SORVIN PERUSTEET.....	3
2.1	Sorvin synty, tarkoitus ja valmistettavat kappaleet.....	3
2.2	Tyypillisen sorvin rakenne .....	4
2.2.1	Puusorvit .....	5
2.2.2	Metallisorvit.....	8
2.2.3	Sorvin fyysiset koot ja mitat .....	10
2.3	Rakenteiden materiaali.....	11
2.3.1	Koneistettavat osat .....	11
2.3.2	Kiinnittimet .....	12
2.4	Kitka ja pinnankarheus.....	13
2.5	Geometriset toleranssit.....	13
2.6	Tarkkuus ja välys .....	15
2.7	Voimanlähde .....	16
2.8	Taltat ja terät .....	16
2.9	Sorvaaminen.....	20
2.10	Turvallisuus.....	27
2.11	Piensorvit.....	29
3.	SUUNNITTELU .....	32
3.1	Pahl'in ja Beitz'in konstruktio-oppi .....	32
3.2	Sorvin ja aihion koon valinta .....	33
3.3	Modulaarisuus .....	34
3.4	Muotoilu.....	34
3.5	Runko .....	35
3.6	Karat ja ympyräliike.....	36
3.7	Z- ja X-lineaariliikkeet.....	38
3.8	Taltantuki ja teränpidin .....	40
4.	TOTEUTUS .....	43
4.1	Perustana runko .....	43
4.2	Karapylkkä ja moottoripuolen laakeripukki.....	43
4.2.1	Karapylkän liike ja laakerit.....	45
4.2.2	Tiivistäminen .....	47
4.2.3	Välyksen tarkistaminen asentamisessa .....	47
4.2.4	Vaihtoehdot aihion kiinnittämiseen .....	48
4.3	Kärkipylkkä ja kärkipuolen laakeripukki.....	51
4.3.1	Keskiökärjen muoto .....	51
4.4	Laakeripukkien asennus runkoon.....	52

4.5	Z-liikerata ja kärkipylkän liike.....	53
4.5.1	Johdintankojen sijoitus.....	53
4.5.2	Polymeerilaakerit .....	54
4.5.3	Kierre- ja trapetsitangot .....	54
4.5.4	Hammaspyörä ja -tanko .....	56
4.5.5	Käsisyöttö.....	57
4.5.6	Pukit ja tuet liikeruuveille sekä teräkelkan pohja .....	58
4.5.7	Sorvin jalat .....	60
4.5.8	Z-liikkeen ja kärkipylkän valmis kokoonpano.....	61
4.6	X-liikerata .....	63
4.7	Taltantuki .....	65
4.8	Teränpidin .....	68
4.9	Moottoroiminen.....	69
4.9.1	Moottorikäyttö ja turvallisuus .....	69
4.9.2	Suoraveto .....	70
4.9.3	Hihnaveto .....	71
4.9.4	Moottorin tehontarpeen laskeminen ja valinta.....	72
4.9.5	Tasavirtamoottori .....	73
4.9.6	Vaihtovirtamoottori.....	74
4.9.7	Numeerisen ohjauksen ja digitaalisen mittalaitteen lisäys.....	75
4.10	Sorvin käyttöönotto ja testaus .....	77
4.10.1	Valmiin sorvin katsaus.....	77
4.10.1	Heiton tarkistaminen .....	79
4.10.2	Kappaleen kiinnittäminen .....	80
4.10.3	Rasvaus ja huolto .....	81
5.	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	82
5.1	Kustannukset .....	82
5.2	Vertailu muihin pienoissorveihin .....	83
5.3	Soveltuvuus .....	84
6.	JATKOKEHITTÄMISIDEAT .....	86
7.	YHTEENVETO .....	87
	LÄHTEET.....	88

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

ABB	Asea Brown Boveri yritys
AC	Alternating current, vaihtovirta
CNC	Computer numerical control, numeerinen ohjaus
CCW	Counterclockwise, vastapäivään
d	Aihion halkaisija
DC	Direct current, tasavirta
DIN	Deutsches institut für normung, saksalainen standardointi-instituutti
DRO	Digital readout, digitaalinen mitan lukulaite
EN	European standards, eurooppalaisen standardisoimisjärjestön standardi
FF	Filtering facepiece, esiintyy hengityssuojainten suojausluokissa
$f_n$	Syötönarvo [mm/r], kaava (2) s.26
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter haftung, rajavastuuyhtiö
IEC	International electrotechnical commission, kansainvälinen sähköalan standardointiorganisaatio
Inc	Incorporated, osakeyhtiö
ISO	International organization for standardization, kansainvälinen standardisoimisjärjestö
kc	Ominaislastuamisvoima [N/mm <sup>2</sup> ], kaava (3) s.72
MOSFET	Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor, metallioksidi-puoli johdekanavatransistori
N	Newton
n	Pyörimisnopeus [r/min, rad/s, 1 r/min=0,105 rad/s], kaava (1) s.25

Nm	Newtonmetri
NTN	Niwa, Tomoe, Nishizono, laakeriyritys
P	Teho [W, hp, 1 hp=745,7 W], kaava (3) s.72
P1-3	Particle, esiintyy hengityssuojainten suojausluokissa
PE	Polyeteeni
POM	Polyoksimeteeni
Ra	Pinnankarheuden keskipoikkeama [ $\mu\text{m}$ ], kaava (2) s.26
$r_e$	Terän nirkon säde [mm], kaava (2) s.26
S1-10	Moottorin käyttötapa
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SKF	Svenska kullagerfabriken, laakeriyritys
t	Geometrisissa toleransseissa esiintyvä viitemitta
Tr	Trapetsikierre
U	Jännite [V]
V	Lastuamisnopeus [m/min, m/s, 1 m/min=60 m/s], kaava (1) s.25 ja kaava (3) s.72
X	Sorvin poikittaissuuntainen liike
Z	Sorvin pituussuuntainen liike
$\beta$	Teroituskulma
$\eta$	Hyötysuhde



A	Sorvin kärkiväli
B	Sorvin pituus
C	Sorvin syvyys, leveys
D	Karapylkän reiän halkaisija
d1	Suurin aihion halkaisija rungon johteesta mitattuna
d2	Suurin aihion halkaisija teräkelkasta mitattuna
d3	Suurin aihion halkaisija kidasta mitattuna
E	Sorvin korkeus
F	Sorvin kidan pituus
H	Kitakorkeus
h	Korkeus kärkipylkän kärjestä rungon johteeseen

# 1. JOHDANTO

Johdannossa käydään läpi työn kannalta oleelliset määritykset lukijalle ja perehdytetään hänet läpi käytävään työhön.

## 1.1 Aiheen määrittäminen

Työssä tutkittiin, suunniteltiin ja toteutettiin, eli valmistettiin pienoissorvi, jonka osat ovat omavalmisteisia lukuun ottamatta standardiosia kuten ruuvit, pultit, kierretangot ja laakerit.

Idea aiheelle lähti koneistusopinnoissa, joissa kumpusi haaste tehdä mahdollisimman toimiva pienoissorvi liikkuvine akseleineen ja teränpitimineen. Sorvilla ja jyrsimellä iltaisin koneistaessani ajatus pienestä, yksinkertaisesta ja modulaarisesta sorvista syntyi. Jokaisen sorvin perimmäinen toimintaperiaate lähtee mahdollisimman kitkattomasta pyörimisliikkeestä ja ohjatusta terästä joka irrottaa aihioista lastuja tietyllä kulmalla ja syvyydellä saaden aikaan tietyn tyyppisen pinnanlaadun työstettävään kappaleeseen.

Aihe rajataan käsittämään vain pienoissorveja, jotka teholuokaltaan pystyvät työstämään maksimissaan vain alumiinia ja sitäkin pienillä lastunsyvyyksillä. Varsinaisia suuremman tehon vaativia ja metallintyöstön mahdollistavia sorveja työssä ei käsitellä. Työssä valmistettu sorvi on kuitenkin toimintoinen ja rakenteineen vastaava isompien kokoluokkien sorvien kanssa vaikkakin joitain toimintoja kuten pakan rakennetta on yksinkertaistettu edullisen valmistettavuuden vuoksi.

Pienoissorvin osat rajataan valmistettavuuden kannalta vain työstettäviin aihioihin, jotka liitetään toisiinsa pultein ja esim. valamalla tai hitsaamalla valmistettuja osia ei tuotoksessa ole. Valamalla itsetehtyä pienoissorvia on tutkittu lähteessä [1] ja muita pienoissorvi aiheisia tutkimuksia on tehty lähteessä [2].

Osien valmistettavuudessa on painotettu edullisuutta, tilan tehokasta käyttöä, modulaarisuutta ja kestävyyttä.

## 1.2 Työn tavoitteet, vaatimukset ja tutkimusmenetelmät

Tavoitteena oli teorian, käytännön ja jo olemassa olevien sorvimallien perusteella rakentaa omavalmisteinen pienoissorvi sekä esitellä sen rakenne tässä työssä. Painottuen siihen, että pienoissorvin voi valmistaa itsenäisesti työssä esiintyvien tietojen ja mittapiirus-

tusten avulla tee se itse -periaatteen mukaan. Tämän sorvin oli täytettävä seuraavat vaatimukset kestävä pitkän käyttöiän mahdollistamiseksi, tukeva työstön tärinän minimoimiseksi, modulaarinen osien helpon vaihdettavuuden ja monipuolisuuden takia, edullinen jotta tuotteen voi pienillä kustannuksilla ja muutoksilla valmistaa itsenäisesti, tilaa säästävä varastoinnin ja säilytyksen puolesta, turvallinen jotta käyttö olisi mahdollisimman mutkatonta ja tarpeeksi tehokas mahdollistaen mm. muovin ja puun työstön säädettävällä nopeudella.

Tavoitteisiin pääsyksi käyttämäni tutkimusmenetelmä on konstrukttiivinen. Lisäksi käytän kirjallisuustutkimusta, eli perehtymistä alan kirjallisuuteen, esitteisiin, standardeihin ja sitä kautta olemassa oleviin sorvimalleihin. Havainnointia ja kokeilua käytetään myös yritys ja erehdys ongelmanratkaisu menetelmän avulla sekä käyttämällä hankittua 10 vuoden kokemusta 3D-suunnittelussa, koneistuksessa, mekaniikassa ja moottorikäytöissä. Tutkimus lähtee aihion koosta, jonka ympärille suunnitellaan sorvin osat, koska kaikki osat valmistetaan itse ei mikään osa rajoita valintoja.

### 1.3 Työn rakenne

Työ koostuu kolmesta pääosa-alueesta. Ensimmäinen teoriaosuus on kirjallisuustutkimus sorvien perusteista, joka kuvaa tärkeimmät tiedot, jotta lukija pääsee perille sorvin rakenteesta, tarvittavista ominaisuuksista ja historian aikana kehitetyistä aikaisemmista pienoissorvimalleista, jotka ovat olleet aikanaan suosituimpia. Toinen soveltava analyysi-osa nimeltä suunnittelu tutkii mahdollisia vaihtoehtoisia pienoissorvin rakenteita ja selvittää miksi työssä päädyttiin valitsemaan juuri kyseinen rakenne. Kolmas soveltavaosa nimeltä toteutus esittelee aikaiseksi saadun pienoissorvin. Tässä osuudessa kuvataan yksityiskohtaisesti työssä valmistettuun pienoissorviin valittujen ominaisuuksien kirjo.

Työn lopussa ovat johtopäätökset, jatkokehittäminen ja yhteenveto. Johtopäätöksissä pohditaan aikaansaadun sorvin hyödyntämistä ja tavoitteisiin pääsyä. Jatkokehittämisessä käydään läpi ideoita joita voisi toteuttaa, jotta saatuja tuloksia voitaisiin parantaa. Yhteenvedossa esitetään koko työn sisällystä pähkinäkuoressa.

## 2. SORVIN PERUSTEET

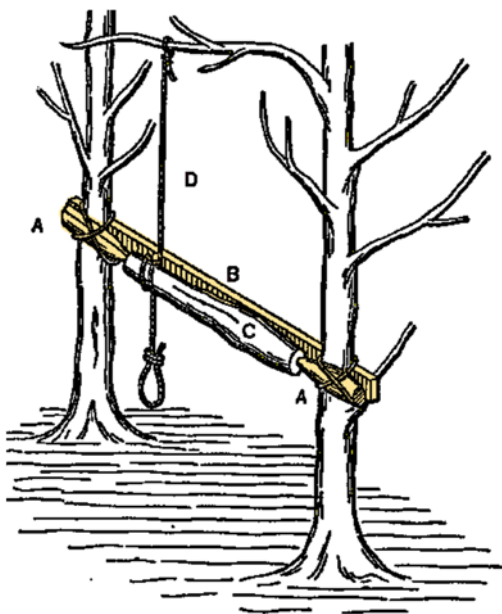
Sorvin perusteissa käydään läpi teoria sorvin toiminnan, käytön ja rakenteen kannalta. Lopuksi käydään läpi pienoissorvien historiaa ja valmistajien eri pienoissorvimalleja erikoistuen juuri tässä työssä valmistettuun sorvityyppiin.

### 2.1 Sorvin synty, tarkoitus ja valmistettavat kappaleet

Ensimmäisenä työstökoneena tunnettu sorvi on lähtökohta, josta muut työstökoneet ovat syntyneet. Sorvaus käsittää aihion muovaamisen kaarevan poikkileikkauksen muotoon eli soikeaan tai pyöreään lastuamalla aihiota ja muodon joko suoran viivoituksen tai timanttikuvion painamisen muovaavana työstönä työkappaleeseen, jota kutsutaan pyältämiseksi sekä lisäksi painosorvaamisen, jossa pehmeä metallinen tasainen kiekko esim. lyijy, messinki tai kupari muovataan painamalla sitä vähitellen pyörähdyskappaleisen mallin päälle saaden siitä lopulta metallisen kuoren, joka vastaa mallin ulkomuotoa [3,4].

Sorvaus perustuu dreijaan, joka on savenvalajan pyörivä pöytä. Ensimmäisen sorvin keksijäksi on nimetty antiikin kreikkalainen Theodore Sami 560 vuotta ennen kristusta. Menetelmänä sorvauksessa asetetaan aihio 2 vapaasti pyörivän kärjen väliin ja aihion pyöriessä pyörähdysakselinsa ympäri kärkien toimiessa napoina kosketaan aihiota terävällä leikkuutyökalulla liikuttaen sen terävää kärkeä niin, että haluttu lastuaminen tapahtuu ja tietty muoto saadaan syntymään [3].

Kuva 1 osoittaa aikaisimman tunnetun sorvin muodon, jossa kärjet A ovat sidottuja kahden puun väliin. Taltan tukena toimii lauta B, joka on myös sidottu puiden välille samaan linjaan kuin kärjet. Aihiota C pyörittää naru D, jonka lenkkiä jalalla liikuteltaessa edes takaisin saa yläoksan joustamaan mukana ja samalla aihio pyörähtää. Sorvin englanninkielinen nimi lathe tulee joustavasta kepeistä englanniksi lath, toisin sanoen rimasta, jossa naru on kiinni [3]. Suomenkielinen sorvata sana on lähtöisin ruotsinkielisestä sanasta svarva.



**Kuva 1. Aikaisin tunnettu sorvin muoto perustuu lähteeseen [3].**

Sorvin kehittyessä tästä päästään lopulta sorvin muotoon, joka on ideana muuttunut vain vähän 2010-luvulle tultaessa. Tämä muoto esitetään tarkemmin seuraavassa osiossa. Vanhoissa köysisorveissa mielenkiintoinen seikka on se, että puolet ajasta aihiota ei voinut työstää, koska aihio pyöri väärinpäin aina narun liikkeessä takaisin ylös. Aikojen saatossa kehitys johti köyden katoamiseen ja liikkeeseen, joka pyöri jatkuvasti yhteen suuntaa ja samalla voimalla, tästä kerromme osiossa 2.7 enemmän [3].

Historiallisesti tärkeinä huomioina mm. höyläyskoneen keksiminen 1751 vuonna ja sen kehitys mahdollisti puisten sorvien runkojen koneellisen höyläämisen tasaiseksi. Rungon liukuva teräntuki uutena keksintönä sorvissa on selvästi näkyvissä Ranskan vuoden 1772 tietosanakirjassa ja jopa vuoden 1717 painoksessa. Johtoruuvien käyttö ja hammasrattaat olivat myös näkyvillä 1740 vuoden ranskalaisissa kuvissa, mutta eivät vielä olleet yleisessä käytössä [5]. Muutos puurunkoisista sorveista metallirunkoisiin tapahtui yleisesti lopulta 1800-luvulla, silloin valmistuivat sorvit, jotka ominaisuuksiltaan ja rakenteiltaan olivat hyvin lähellä nykyajan sorveja [3].

Muita huomioita sorvin kehityksessä olivat mm. rautaiset kiertet ja osien standardointi. Rautaiset pultit kiinnittiminä yleistyivät vasta 1700-luvulta lähtien. Ennen ruuvit tehtiin räätälöitynä, vasta 1800-luvulla osien samanlaistaminen alkoi ja mm. vuonna 1947 ISO (engl. International organization for standardization) metriset vakiokierteet M julkaistiin virallisesti. Standardoinnin alkaminen mahdollisti osien vaihdettavuuden keskenään [6].

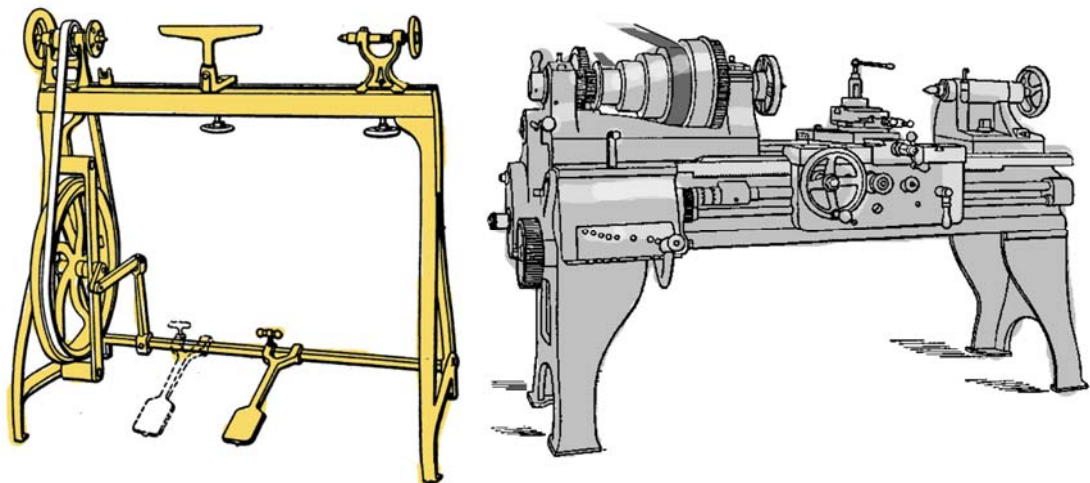
## 2.2 Tyypillisen sorvin rakenne

1800-luvun lopulla sorveja oli markkinoilla tarjolla jo alan harrastajillekin yhä edullisemmin, sorvien yleistymisen ja valmistuksen kehittymisen myötä [2]. Kuvassa 2 on esillä

hihnavetoisia 1900-luvun alun sorvimalleja, ne on kerätty kuvaamaan tyypillisiä varhaisia sorveja.

Yleisesti sorvit jaotellaan 2 kategoriaan sorvattavan materiaalin perusteella, vasemmalla kuvassa 2 on puusorvi, jolla on tarkoitus sorvata vain puuta. Sen rakenne on huterahko, tehon tarve pieni esim. tässä kärki on hihnalla kytketty vain jalkavoimalla toimivaan polkimeen ja tarkkuus on heikonlainen [2]. Oikealla kuvassa 2 on metallisorvi, jolla sorvataan mm. rautaa. Se on rungoltaan erittäin tukeva, tarkka ja siihen voi hihnalla kiinnittää voimakkaankin ulkoisen moottorin [3]. Metallisorveissa alkoi esiintyä 1800-1900-luvun vaihteilla nopeussäädetty automaattisesti liikkuva teräntuki ja kärjen nopeutta pystyi säättämään samaan tapaan kuin autoissa vaihdetta. Tämä tapahtui kytkimen avulla, joka vaihtoi helposti hammasrattaiden välityssuhdetta. Joseph Flather innovoi useita patenteja mm. juuri nopeaan vaihteiden vaihtoon [2,7].

Tässä osiossa käymme seuraavasti lyhyesti läpi molempien tyyppiset sorvit ja niiden eroavaisuudet komponenteissa sekä lisävarusteissa. Valitut mallit kuvaavat tyypillisiä sorveja n.2000-luvusta lähtien.

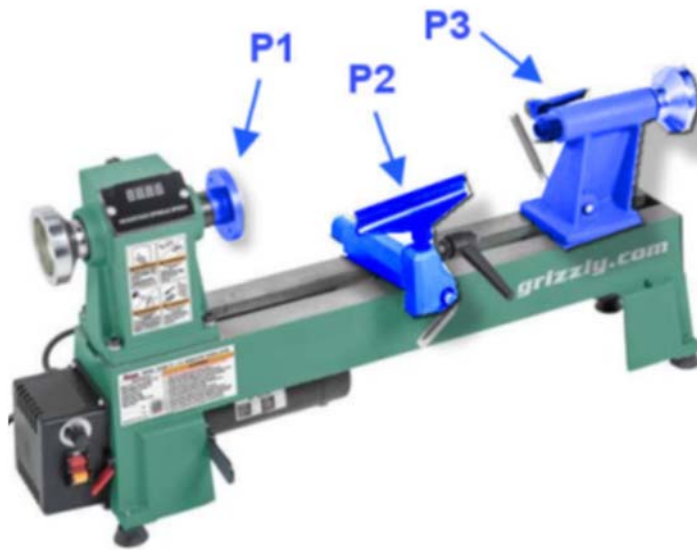


**Kuva 2. Millers Falls puusorvi No.417 vuodelta 1915 ja Flather Model 14 metallisorvi vuodelta 1901 perustuvat lähteisiin [2,3,7,8].**

### 2.2.1 Puusorvit

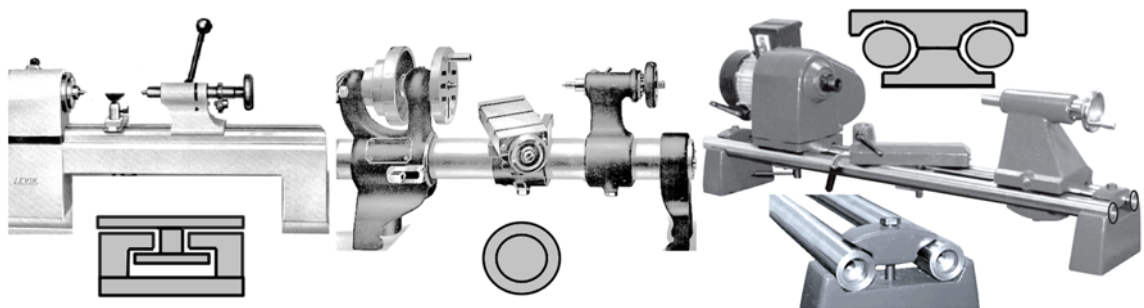
Puusorveilla sorvataan pehmeitä materiaaleja esim. puuta kuten nimikin kertoo. Myös muovin sorvaaminen on sillä mahdollista. Koska puusorvit perustuvat henkilön silmämääräiseen sorvaamistarkkuuteen, eli siihen kuinka hyvin yksilö pystyy ohjaamaan kädessä pidettävää talttaa ahiota pitkin. On puusorvilta vaadittava ja sillä saatava tarkkuus parhaimmillaan vain n. $\pm$ 1mm luokkaa. Tämän takia puusorveissa sallitaan enemmän välystä sen osissa ja kustannukset ovat alhaiset. Puusorvit ovat siis malleiltaan edullisia

ja edustavat sorvia yksinkertaisimmillaan. Kuvassa 3 on esillä puusorvin rakenne ja sille kuuluvat erityispiirteet.



**Kuva 3. Puusorvin rakenne perustuu lähteeseen [9].**

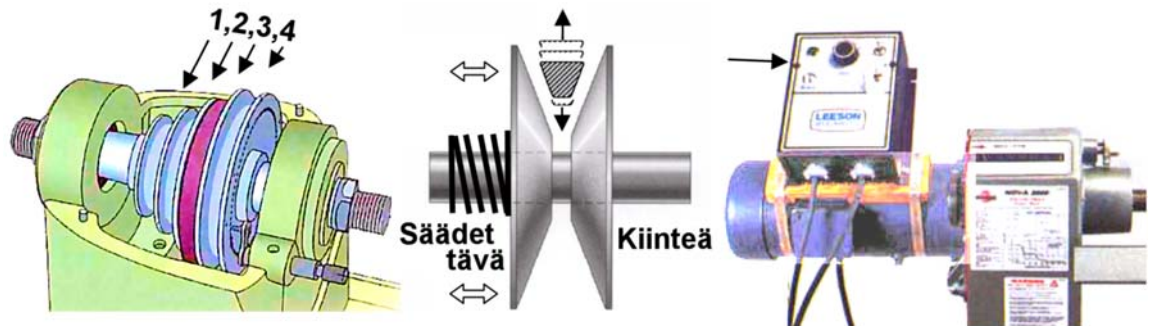
Runko ja siihen koneistetut pitkittäisjohteet muodostavat sorville pohjan, jota kutsutaan englanniksi sängyksi, eli bed. Siihen kiinnittyvät kaikki muut sorvin osat. Puusorveissa runko on tehty usein kevyeksi helpon siirrettävyyden takia. Tämä kevyen rakenteen tavoittelu heijastuu kuitenkin haitallisesti tukevuuteen, tarkkuuteen ja työstössä tapahtuvan värinän voimakkuuteen [2,4]. Kuvassa 4 näkyvät rungon eri rakenteiden tyyppejä. Vasemmalla on yleinen tasaiseksi jyrsitty 2 L-muotoisesta palkista muodostuva runko. Keskellä ja oikealla ovat pyöreiksi hiotuista tangoista muodostuvat rungot.



**Kuva 4. Puusorvin rungon eri rakenteita. Levin 1950-luvulta, Drummond A-Type 1920-luvulta ja Record 2010-luvulta perustuvat lähteisiin. [10,11,12].**

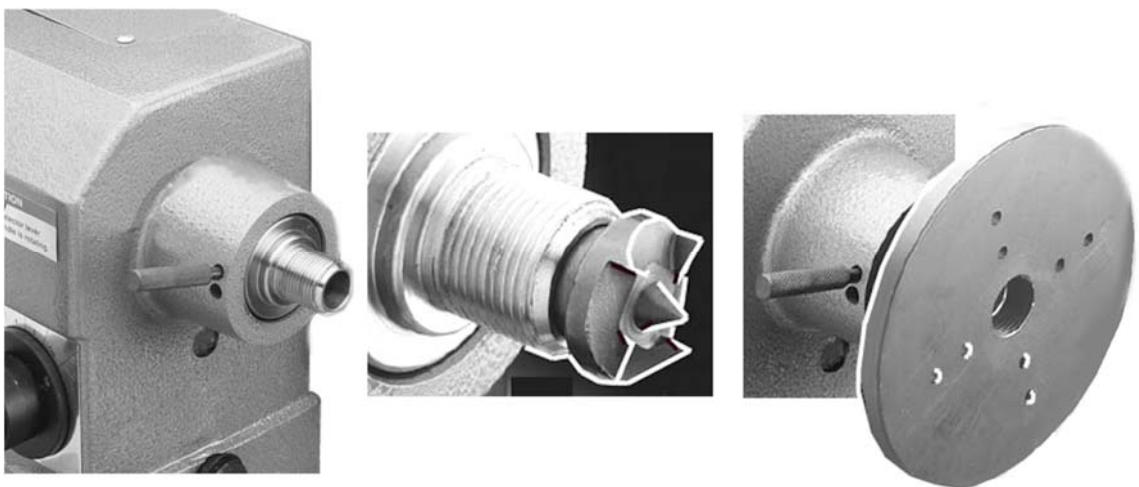
Moottori ja nopeudensäätö ovat puusorveissa tehty halpuuden vuoksi yleensä joko säädettävällä hihnalla tai elektronisella moottorinsäätimellä. Kalleimmissa ammattilaismaaleissa on kytkimellä toteutettu vaihteiden, eli hammasratasyhdistelmien säätö. Tarkasti eriteltynä sorvin nopeuden säätöön on olemassa 4 erilaista tyyppiä. Ensimmäinen on kuvassa 5 vasemmalla näkyvillä oleva säädettävällä hihnalla varustettu sorvi, jolla on esim.

3-4 eri vakionopeutta riippuen hihnan paikasta hihnapyörillä. Hihnan paikka on vaihdettava käsin sorvin ollessa pysähdyksissä [13]. Toinen on kuvan 5 keskellä oleva mekaanisesti säädettävä hihnapyörä, joka kutistuu tai laajenee kytkimestä, jolloin hihna automaattisesti muuttaa paikkaansa. Tämä säätö voidaan toteuttaa myös sorvin ollessa käynnissä. Kolmas on kuvan 5 oikealla näkyvä, joko tasavirtamoottori ja jännitteensäädin tai vaihtovirtamoottori ja taajuudensäädin. Kummatkin yhdistelmät toimivat myös sorvin ollessa käynnissä [14]. Neljäs tyyppi on hammasratasvaihteisto, jota käymme tarkemmin läpi metallisorvien rakenteessa.



**Kuva 5. Puusorvin nopeudensäätötavat perustuvat lähteisiin [13,14].**

Kuvassa 3 P1 karapylkkä on yhteydessä nopeuden säätötavan kanssa, kuten edellä todettiin, joko hihnalla epäsuorana hihnavetona tai nopeudensäätimellä varustettu moottori on kytkettynä suoraan karapylkkään suoravetona. Karapylkkä itsessään pyörii laakereiden varassa ja siinä on puusorveissa yleensä ulkopuolella vakiokierre ja sisäpuolella vakioitu morsekartio, johon saa liitetty kuvan 6 kaltaisia aihion kiinnittämiseen tarvittavia varusteita. Perinteinen nelisakarainen vääntiö on kuvassa 6 keskellä ja pöytä on kuvassa oikealla, jota käytetään esim. kulhojen ja lautasten sorvaamiseen [14,15,16]. Puusorveissa kara on yleensä umpinainen ja pieni toisin kuin metallisorveissa [16].



**Kuva 6. Puusorvin karapylkkään kiinnitettävät varusteet perustuvat lähteeseen [15].**



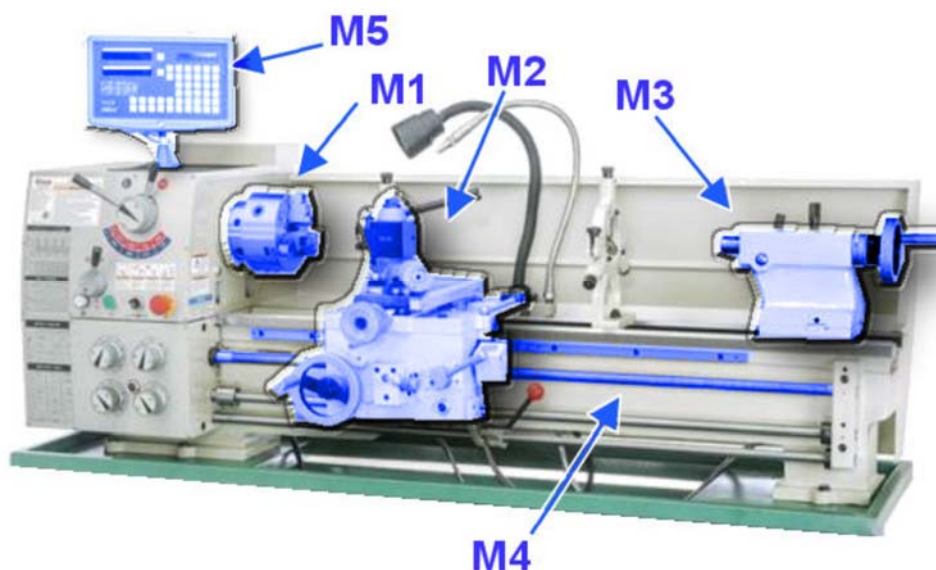
Kuvassa 3 P2 taltantuki on vaaka- ja pystysuunnassa säädettävä ja lukittava noja taltalle. Se helpottaa taltan pitoa oikeassa leikkuuasennossa. Sen oikeasta paikalleen asettamisesta on kirjoitettu osiossa 2.9. Taltan tuen täytyy olla kalteva, sileä ja mieluummin hiottu taltan sulavan liukumisen takia sen pinnalla sekä suunniteltu siten, että sormille jätetään tarvittava sormitila [14,16].

Kuvassa 3 P3 kärkipylkkä on kohdistettu suorassa linjassa karapylkkää vastaan. Se koostuu myös karasta kuten karapylkkä. Toisin kuin kiinteästi asennettu karapylkkä, kärkipylkkää voi kuljettaa ja lukita eri paikkaan runkoa. Siinä on käsin säädettävä pituussuunnassa liikkuva morsekartiainen kara, johon voi laittaa poraistukan tai keskiökärjen, jonka tarkoituksena on tukea aihiota. Kärki on yleensä laakeroitu ja vapaasti pyörivä, mutta myös vähemmän esiintyviä ei pyöriviä on olemassa [14].

Erityishuomautuksena puusorveissa ei yleensä esiinny jarrutustoimintoa sorvin liikkeen pysähtymisen nopeuttamiseksi. Tämä on yleensä enemmän ammattityökalujen ja metallisorvien toiminto [16].

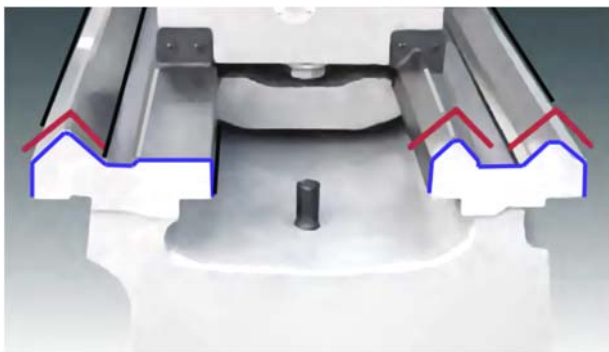
### 2.2.2 Metallisorvit

Metallisorvit ovat sorvien parhaimmistoa. Niihin käytetään erikoisteriä, jotka kiinnitetään teränpitimeen. Pystyäkseen sorvaamaan metalleja tarvitaan myös tehoa enemmän. Tarjoilla metallisorveilla päästää n. $\pm$ 0,01mm tarkkuuteen käyttämällä tukevampia ja tiukemmilla toleranssirajoilla valmistettuja osia. Näistä syistä metallisorvien tarkkuus, kestävyys ja lisäosien saatavuus ovat parempia kuin puusorveilla. Huonona puoleena on taas niiden monimutkaisen rakenteen kalleus ja rikkoontumisen aiheuttamat vaativat korjaukset mm. automaattisyyötyöissä ja hammasrattaissa. Kuvassa 7 on näkyvillä kyseisen sorvin rakenne.



**Kuva 7. Metallisorvin rakenne perustuu lähteeseen [17].**

Rungossa olevat johteet ovat metallisorveissa poikkeuksetta eri muotoisia yhdistelmiä, joissa esiintyy tasojohteita, harjajohteita ja lohenpyrstöjohteita kuten kuvassa 8 on mallinnettu. Yhdistelmä eri muotoja takaa paremman suuntauksen ja vaimentaa tärinää. Metallisorvin runko on valurautaa ja koneistetut johteet karkaistuja sekä tarkkuushiottuja [4,18].

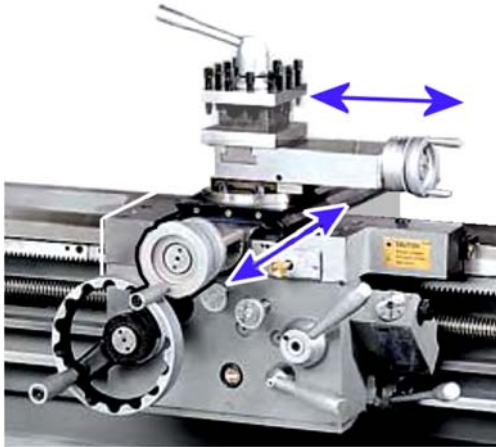


**Kuva 8. Metallisorvin rungonjohteen rakenne Lagun:in vuoden 2016 sorvissa [18].**

Moottori ja nopeudensäätö ovat toteutettu metallisorveissa hammaspyörävaihteistolla, joka on liitetty hihnalla karapylkkään. Pyörimisnopeus vaihdetaan koneen ollessa pysähdyksissä vipujen avulla, pyörimisnopeus voi olla esim. 50, 100, 300, 1000, 2500 kierrosta minuutissa. Moottori on vaihtovirtamoottori [4].

Kuvassa 7 M1 karapylkkä ja istukka. Metallisorveissa on kiinni avaimella kiristettävä, joko 3 tai 4-leukaistukka, jälkimmäinen sopii myös neliön ja parittomien monikulmien muotoisten aihioiden kiinnittämiseen. Leukojen ulkoreunoille voi kiinnittää putkenmuotoisia aihioita. Istukoista 3-leukaistukka on itsekeskittävä, kun taas 4-leukaistukassa täytyy aihio keskittää käsin. Istukka mahdollistaa usein aihion syöttämisen sen sisään ja yleensä myös karassa on läpimenevä reikä, jolloin pitkät ahiot saa myöskin siitä läpi ja tuettua karan ja koneen ulkopuolelta erillisillä tukilaakeripukeilla. Vakioleuoissa on muotoillut hammastukset pidon parantamiseksi, mutta ne jättävät aihioon painauman. Kiertämällä esim. ohuen kuparipellin aihion ympäri tai käyttämällä itse koneistettuja pehmeitä leukoja voidaan välttyä painaumilta viimeistellyssä kappaleessa [4].

Kuvassa 7 M2 teräkelkka korvaa taltantuen. Se koostuu liikuteltavista pitkittäiskelkasta, poikittaiskelkasta, kääntöalustasta ja lukkolevystä. Lukkolevy sisältää hammasrattaat ja toimilaitteet vipuineen, jotka mahdollistavat automaattisen liikkeen teräkelkalle. Itsestään automaattisesti liikkuvaa toimintoa kutsutaan konesyötöksi, se tapahtuu kytkemällä kelkan läpi menevä syöttökara päälle. Toinen kelkan läpimenevä pitkittäiskomponentti on Kuvassa 7 M4 johtoruuvi, sitä käytetään kierteiden tekemiseen työkappaleeseen. Kelkkojen päissä olevia käsikahvoja pyörittämällä taas voidaan manuaalisesti käsisyöttönä liikuttaa teräkelkkaa. Kuvassa 9 on esillä 2000-luvun tyyppinen teräkelkka, josta näkyy useat valintakytkimet ja säätömahdollisuudet, joilla terää ohjataan [4].



**Kuva 9. Teräkelkan rakenne Lagun:in vuoden 2016 sorvissa perustuu lähteeseen [18].**

Kuvassa 7 M3 kärkipylkkä on hyvin samankaltainen kuin puusorvissa. Se toimii edelleen tukipisteenä kappaleelle keskiökärjellä ja keskireikien poraamiseen poraistukalla. Erona on isompien morsekartioiden käyttö, sillä tehon kasvaessa isomman kokoluokan porien käyttö on mahdollista. [4].

Kuvassa 7 M5 digitaalinen mittalaite eli digital readout DRO on mittalaite, jolla voi näyttää eri liikeratojen sijainnin nollaamalla näyttö halutussa alkupisteessä ja liikuttamalla teräkelkkaa halutun matkan, tällöin koko liikkeen ajan matkan pituuden muutos päivittyy ja näkyy suorana lukulaitteen digitaalisesta näytöstä [4,18].

Lastuamisnesteen syöttö on metallisorveissa pakollinen. Se jäähdyttää työstettävää aihiota, helpottaa lastujen poistumista terästä, mahdollistaa nopeamman työstön, estää terä- ja lastupölyn kulkeutumista hengitysilmaan ja pidentää terän käyttöikää. Neste suunnataan säädettävillä letkuilla tarkasti terän päälle [4].

Turvalaitteista on enemmän osiossa 2.10 ja itse sorvaamisesta osiossa 2.9. Molempien sorvityyppien esittelemine on työssä tärkeää, sillä työn pienoissorvi yhdistää molempien tekniikat samaan koneeseen. Eli sillä on mahdollista käyttää sekä teränpidintä, että tal-  
tantukea, jotka ovat vaihdettavia keskenään.

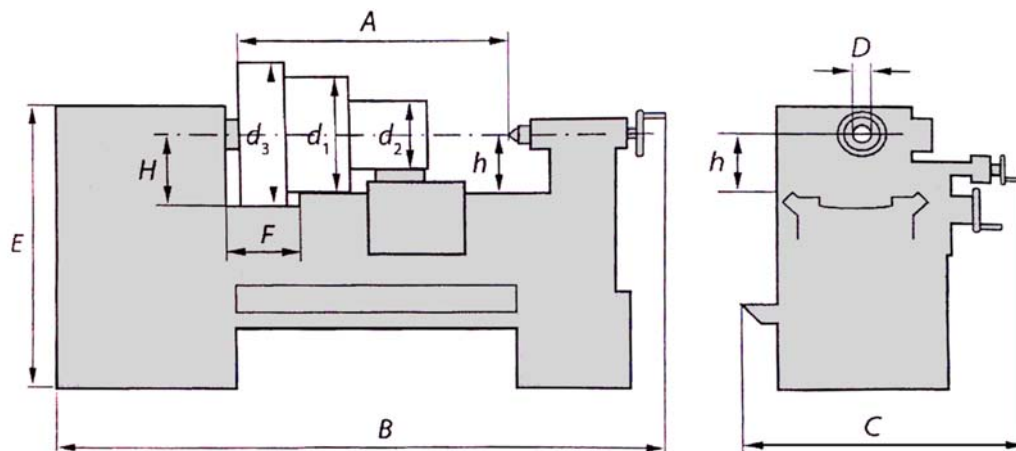
### **2.2.3 Sorvin fyysiset koot ja mitat**

Sorvin yleisillä mitoilla on vakiintuneet nimitykset ja tunnuksat. Kuvassa 10 ovat esillä nämä mitoitusmitat. A on kärkiväli mitattuna kärjestä kärkeen, se määrää sen kuinka pitkän aihioon koneeseen voi kiinnittää. Kärkikorkeus h on mitta johteesta kärjen keskelle. H on sorvin alkupään korkeus karapylkän keskeltä kohtaan, jossa joillakin sorveilla on kitapala, jonka voi poistaa iso halkaisijoille aihiolle. Maksimi kiinnitettävää aihiota kuvaavia mittoja on 3. Yleisin ja turvallisin on d2, joka antaa maksimi halkaisijan aihiolle joka mahtuu vielä pyörähtämään osumatta teräkelkkaan. Muut maksimihalkaisijat ovat d1,

jossa aihio ei osuisi johteisiin ja  $d_3$ , jossa aihio ei osuisi kitapalaan. D kuvaa reiän halkaisijaa, joka on karapylkässä, eli maksimi aihion halkaisija, joka saadaan vielä karapylkän läpi vedettyä. F on kidan pituus, jos sellainen on sorvissa [4].

E, B ja C kuvaavat sorvin ulkomittoja, eli korkeutta, pituutta ja syvyyttä [4].

Tärkeimmät mitat työstettävän aihion kannalta ovat A ja  $d_2$ , sillä nämä antavat mitat maksimi aihiolle, jonka voi vielä turvallisesti kiinnittää kyseiseen sorviin. A:n kohdalla huomioiden tietenkin sen onko mahdollista aihion läpivientiin istukan ja karan reikien läpi ja ennen kaikkea mahtuuko aihion halkaisija niiden reikien läpi. Tarkemmin D:n voi jakaa D1 ja D2, näin istukalla ja karalla on omat reiän halkaisijat, jotka voivat olla eriä [4].



Kuva 10. Metallisorvin mitoitus [4].

## 2.3 Rakenteiden materiaali

Tähän on koottu soveliaita koneistettavia materiaaleja sorvin tekoon ja myös metallikiinnittimien ominaisuuksia käydään läpi. Rakentamisen edullisuus on ydin tässäkin osiossa.

### 2.3.1 Koneistettavat osat

Sorvia tehdessä eri materiaaleja on useita toiset ovat helppoja työstää ja toiset vaikeita, mutta tämä panostus tuo elinikää sorville. Seuraavassa käydään mahdollisia materiaaleja läpi pehmeimmästä kovimpaan.

Pienoissorvin pystyy yksinkertaisimmillaan ja edullisimmillaan tekemään puusta. Tällöin täytyy varautua kuitenkin aihion joustosta aiheutuviin epätarkkuuksiin. Puista mm. tammi, pyökki ja saarni ovat jäykkyydeltään ja kovuudeltaan hyvän laatuista. Tammessa esiintyy luonnostaan isohkoja vesiputkia puuaineessa, jolloin se ei ole aivan tasalaatuista lujuudeltaan. Taivutuksen vahvuus puun rikkoutumiseen eli repeämiseen asti on tammella luokkaa  $n.37\text{N/mm}^2$ , pyökillä luokkaa  $n.63\text{N/mm}^2$  ja saarnella luokkaa  $n.66\text{N/mm}^2$

[19]. Huomautuksena samasta puulajista on olemassa aina eri lajikkeita, joiden ominaisuudet vaihtelevat ja puun ydinaines on aina tiiviimpää sekä vahvempaa. Myös tietyillä hyvillä kasvualustoilla ja joidenkin mineraalien ylläannoituksella puuaines kasvaa liian nopeasti, jää huokoiseksi ja heikkolaatuiseksi työstön kannalta, vaikka puu itsessään voi paremmin hyvällä ravinnolla. Puun työstössä on lisäksi otettava huomioon aina hengityssuojaimet, sillä esim. tammen työstöstä muodostuva puupöly aiheuttaa terveysriskin.

Muoveista hyvä valinta koneistettavuudeltaan, kulutuksen kestoltaan ja lujuudeltaan on tekninen muovi nimeltä polyoksimeteeni, eli POM. Se on vielä kohtuuhintaista n.2,60€/kg, eikä ime esim. vettä sisäänsä. Sen myötöraja on n.65N/mm<sup>2</sup> ja paino muoveista painavimpia yli 1,4g/cm<sup>3</sup>. Väriltään sitä saa esim. valkoisena ja mustana [20].

Alumiini on kevyt, mutta sen lujuusominaisuudet ovat huonot. Seostamattoman alumiinin myötöraja on n.100-150N/mm<sup>2</sup> eli huomattavasti heikompi kuin teräksen. Seosalumiineja kuten kalliita lentokonealumiineja ei tässä tutkimuksessa käyty läpi, mutta niiden myötöraja on yli 500N/mm<sup>2</sup>. Alumiinia työstettäessä täytyy aina käyttää jäähdytysnesteitä, sillä sitkeän pehmeä alumiini tukkii ja jää kiinni leikkaaviin teriin [21].

Teräs on materiaali, jonka koostumuksessa isoin alkuaine on rauta. Teräksen ja valuraudan erottaa hiilipitoisuuden määrä, joka teräksellä on alle 2%. Teräksistä valinnaksi ehdotetaan tässä vain seostamattomia rakenneteräksiä esim. S235 ja S355, jotta työstö olisi vielä kohtuullisen helppoa ja kovempia mm. korkea hiilisiä, kromi ja molybdeeni seosteräksiä ei suositella. Useimmat Euroopassa käytetyt teräkset ovat standardoituja ja löytyvät standardeista SFS-EN 10025 ja SFS-EN 10020 (Suomen Standardisoimisliitto) (European Standards). Tunnuksessa S tarkoittaa rakenneterästä ja luku esim. 235 myötörajaa N/mm<sup>2</sup>. Tavallisimmat myötörajat teräksillä ovat 195, 235, 275, 355, 420 ja 460N/mm<sup>2</sup>, joista 2 viimeistä ovat jo seostettuja erikoisteräksiä. Näitä arvoja korkeammaksi mentäessä työstö vaikeutuu yli n.600N/mm<sup>2</sup> on jo hidastettava huomattavasti työstönopeuksia [21, 22, 23].

### 2.3.2 Kiinnittimet

Koneen modulaarisuuden ja helpon huollettavuuden takia käytetään kiinnittimiä koneenosien liittämiseksi toisiinsa kestävästi, muttei kuitenkaan lopullisesti kuten hitsauksessa. Kiinnittimet sisältävä pultit, aluslevy, mutterit ja liikeruuvit kuten kierre- sekä trapetsitangot. Tässä työssä käytetään metrisiä ISO-kierteitä.

Teräskiinnittimien kuten pulttien materiaali vaihtelee ruuviaineen lujuuden mukaan mm. 4.6, 8.8, 10.9, 12.9. Standardi SFS-EN ISO 898-1 käsittelee näitä kiinnittimien lujuusominaisuuksia. Esim. 8.8 pultin murtolujuus on 8\*100N/mm<sup>2</sup> eli 800N/mm<sup>2</sup> ja myötöraja on 0.8\*800N/mm<sup>2</sup> eli 640N/mm<sup>2</sup>. Lujuusluokaltaan 4.6 oleva pultti on seostamaton terästä ja sen myötöraja on vain 240N/mm<sup>2</sup>. Tätä lujuusluokkaa ei suositella käytettäväksi pienoissorvissa. Luokka 8.8 on suositus kiinnittimiin [24,25].

Kierretankoja käytetään johtoruuveina pyörivän liikkeen muuntamiseksi lineaariseksi. Esim. puristimissa on käytetty keskitettyä kierretankoa, joka pyöriessään kiristää kappaaleen leukojen väliin. Samalla periaatteella toimivat trapetsitangot merkitään Tr. tunnuksella esim. Tr.30x6, jossa 30mm on ulkohalkaisija ja 6mm kierteen nousu, vertaa kierretankojen M30x3,5 karkeaan kierteeseen. Trapetsitangoissa on aina suurempi nousu kuin kierretangoissa, jolloin samalla liikkeen hyötysuhteella saadaan usein n. puolta suurempi liike aikaiseksi. Usein trapetsitangot ovat myös pinnoittamattomia tarkkuuden säilyttämiseksi [24].

## 2.4 Kitka ja pinnankarheus

Sorvin liikeradoissa pyritään minimoimaan kitka. Tämä toteutetaan mahdollisimman siileillä kiskoilla ja johteilla. Sorvin osat liukuvat toisiaan vasten, jolloin pintojen kulumisnopeus ja voitelun säilytyskyky ovat tärkeitä. Sileydellä tarkoitetaan tarkemmin pinnankarheutta. Pinnankarheus muodostuu koneistettaessa terän jättämistä koneistusjäljistä, joita voi pienentää tai suurentaa muuttamalla työstöarvoja. Koneistamattomilla kappaaleilla kuten mm. vedetyillä lattarautoilla ja polttoleikatuilla aihioilla pinnankarheus ei ole niin kriittinen ominaisuus, mutta myös niille voidaan mitata karheus. Koneistetuilla osilla pitää olla tietty pinnanlaatu toimiakseen tarkoituksessaan. Mittausarvona tälle ominaisuudelle on yleensä karheuden keskiarvo, eli Ra-arvo. Sileimmästä karheimpaan arvot alkavat nolasta mennen n.12.5 asti, joka on jo melko karkea pinta. Yleisimmät Ra-arvot ovat 1.6, 3.2, 6.3 [26].

Kitkan poistoon käytetään koneissa teräskuulia ja teräslieriöitä. Näistä johdannaisia ovat mm. standardoidut laakerit, kuulajohteet ja kuulamutteriruuvit. Nämä ovat tehty hyvin kulutusta kestävästä ja vähäkitkaisista materiaaleista niiden pitkän käyttöiän mahdollistamiseksi. Niiden kalleuden vuoksi käytämme tässä työssä vain laakereiden tuomaa hyötyä hyväksi.

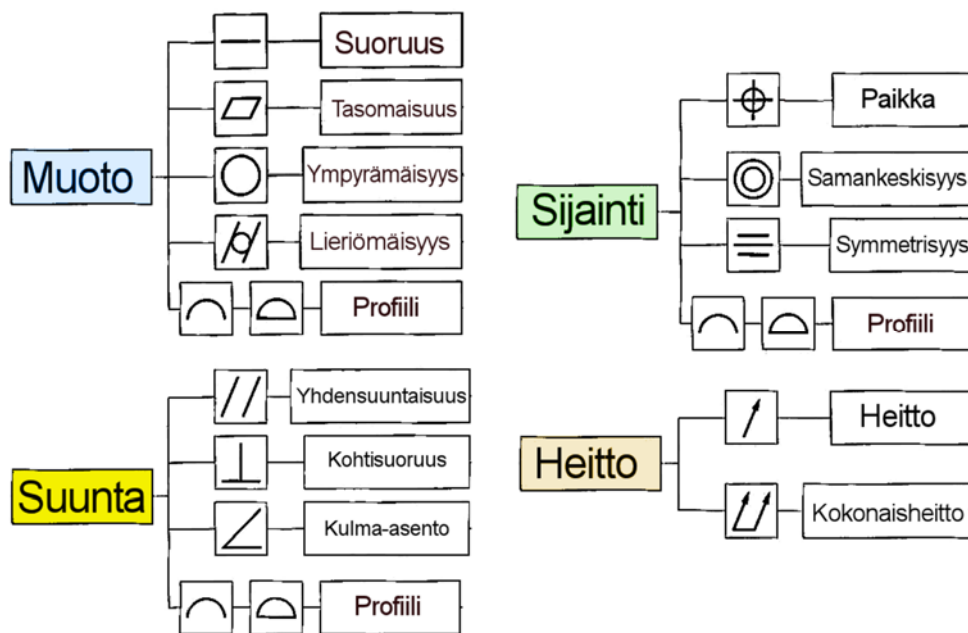
## 2.5 Geometriset toleranssit

Geometriset toleranssit määrittelevät tarkkuusehdot eri pinnoille, tasoille ja muodoille. Ne ovat jatke tarkoilta mittatoleransseille ja välttämättömiä, jotta osat saadaan koneissa toimimaan keskenään. Kuten sorvissa, jossa moninaisten liikeratojen mm. ympyräliike ja lineaariliike on kuljettava tarkoin määrättyjen ehtojen ja tarkkuuksien mukaan, jotta kaikki toimisi mutkattomasti ja sulavasti. Tuotteen hyvä laatu pohjautuu näiden tietojen tarkkaan dokumentoimiseen osien ja kokoonpanojen piirustuksiin.

Tässä osiossa käydään läpi olemassa olevat geometriset toleranssit, jotka ovat saatavilla standardina SFS-EN ISO 1101:2006. Kuvassa 11 näkyvät olemassa olevat geometriset toleranssit. Ne jaetaan muodon, suunnan, sijainnin ja heiton mukaan [27].

Huomautuksena monet yleiset geometriset toleranssit saadaan hyväksytyihin mittoihin jo oikea oppisilla kappaleen kiinnityksillä ja työstövaiheiden valitsemisella. Olettaen että työstökoneessa ei esiinny rakenteellisia välyksiä ja työstön valinnat ovat sopivia.

Piirustuksissa geometrisen toleranssin kohde esitetään erillisellä laatikon muotoisella piirteen hallinnan kehystunnuksella eli toleranssikehyksellä, josta lähtee kohtisuoraan osoittava nuoli kohteeseen eli elementtiin. Kehys sisältää symbolin, toleranssialueen ja tunnuskirjaimen. Lisäksi erillinen kirjaimen sisältävä tunnistekehys tarvitaan kaikilla muilla paitsi muotoa osoittavilla toleransseilla osoittamaan eri elementtien keskinäinen suhde. Näiden 2 merkin muodot ovat tarkoin määritelty edellä olevassa standardissa [27].



**Kuva 11. Geometristen toleranssien yhteenveto perustuu lähteeseen [26].**

Muodon toleransseihin sisältyvät suoruuus, jossa kaikkien pinnassa esiintyvien viivojen täytyy olla toleranssialueen sisällä, jonka rajaavat 2 yhdensuuntaista suoraa viivaa, jotka ovat etäisyyden arvolla  $t$  toisistaan. Näin saadaan osoitettua mm. johdintangon suoruuutta. Tasomaisuudessa pinnan täytyy olla toleranssialueen sisällä, joka muodostuu 2 yhdensuuntaisen tason väliin etäisyydellä  $t$  toisistaan. Tätä käytetään mm. pöydän tasaisuuden kuvaamiseen. Ympyrämaisyys kertoo kehän olevan toleranssialueen sisällä, joka muodostuu 2 samassa tasossa olevien samankeskisten ympyröiden väliin  $t$  säteiserolla. Näin osoitetaan mm. pöydän päiden välinen ympyrämaisyys. Lieriömaisyudessa lieriömainen pinta kuvataan rajattuna toleranssialueen sisällä, jonka tekevät 2 sama-akselista lieriöpintaa säteiserolla  $t$ . Tämä näyttää mm. johdintangon lieriömuodon todellisen ympyrämaisyys, profiileja ei sorvissa esiinny, joten ne jätetään huomiotta [26,27].

Suunnan toleransseista yhdensuuntaisuudessa osoitetaan elementtien viiva tai pinta olevan toleranssialueen sisällä, jossa 2 yhdensuuntaista viivaa tai tasoa ovat etäisyydellä  $t$

toisistaan ja yhdensuuntaisia tunnistekehyksen kanssa. Esim. 2 rinnakkaista johdintankoa ovat yhdensuuntaisia keskenään. Kohtisuoruudessa näytetään viivan tai tason olevan toleranssialueen sisällä, jonka muodostavat 2 tasoa etäisyydellä  $t$  toisista ja kohtisuorassa tunnistekehyksen kanssa. Kokoonpanossa olevien osien kohtisuoruus on oiva esimerkki tästä. Kulma-asennossa viiva tai taso täytyy olla 2 tason muodostaman toleranssialueen sisällä, jotka ovat etäisyydellä  $t$  toistaan ja kallellaan määrättyllä kulmalla tunnistekehukseen [26,27].

Sijainnin toleranssit kuten paikka osoittaa pisteen, viivan tai pinnan olevan toleranssialueen sisällä, jonka muodostavat halkaisijan  $t$  omaava sylinteri tai pallo tai 2 tasoa etäisyydellä  $t$  toisistaan paikoitettuna määriteltynä suhteessa tunnistekehyksiin. Samankeskisyys näyttää pisteen esim. keskipisteen tai akselin olevan toleranssialueen sisällä, jonka rajaavat ympyrä tai sylinteri halkaisijalla  $t$  samankeskisenä tunnistekehukseen. Tämän esimerkkinä on mm. kuulalaakerien suhde toisiinsa. Symmetrisyys kertoo symmetrisyydestä pinnalle, joka on 2 yhdensuuntaisen tason sisällä etäisyydellä  $t$  ja jotka ovat symmetrisesti sijoitettu tunnistekehyksen väliin. Tämä koskee peilattavia pintoja [26,27].

Heiton toleranssit jaetaan ympyrämäiseen heittoon ja kokonaisheittoon. Ensimmäisessä viivan pitää olla toleranssialueen sisällä, rajattuna 2 saman tason tai samankeskisten ympyröiden sisällä, jotka ovat etäisyydellä  $t$  toisistaan samankeskisinä tai kohtisuorana tunnistekehukseen. Jälkimmäinen kertoo, että pinta pitää sisältyä toleranssialueeseen, joka koostuu 2 sama-akselista lieriöstä säteiserolla  $t$  tai tasoista etäisyydellä  $t$  samankeskisinä tai kohtisuorana tunnistekehukseen. Heittoa käytetään paljon osoittamaan mittakellolla mitattavan säteisheittotoleranssin lieriön ja tason välillä, jota käytetään sorveissa karan ja keskiökärjen heiton tarkistamiseen [26,27].

Tärkeimmät geometriset toleranssit ovat sorvin rakentamisen kannalta suoruus, tasomaisuus, ympyrämäisyys, yhdensuuntaisuus, kohtisuoruus, samankeskisyys ja heitto.

## 2.6 Tarkkuus ja välitys

Kun pinnankarheus ja geometriset toleranssit ovat käyty läpi on jäljellä enää osien mittojen tarkkuus eli se kuinka tiukka tai väljä jokin liitos on esim. reikä ja sen läpi menevä tanko. Tiedetään kuinka sileät pinnat ovat ja kuinka ne ovat geometrisesti toleroituja toisiinsa nähden, mutta nyt on mietintänä se kuinka paljon esim. kyseinen tanko saa liikkumavaraa reiän sisällä. Tähän vaikuttavat seikat kuten muiden kokoonpanon osien tarkkuus, käytetyn rasvan ja osien pinnoitteiden paksuus. Hyvillä pinnankarheuksilla ja geometrisilla toleransseilla pystytään käyttämään tiukempia mittatoleransseja ja toisaalta huonoilla täytyy käyttää hyvinkin väljiä mittatoleransseja. Yhteys näiden 3 välillä on mieltäjä ja sen on toteuduttava, jotta koottu kone toimisi halutusti. Väriä tulee esiintymään työstössä suorassa suhteessa laiminlyötyjen edellä mainittujen ominaisuuksien mukaan [26].



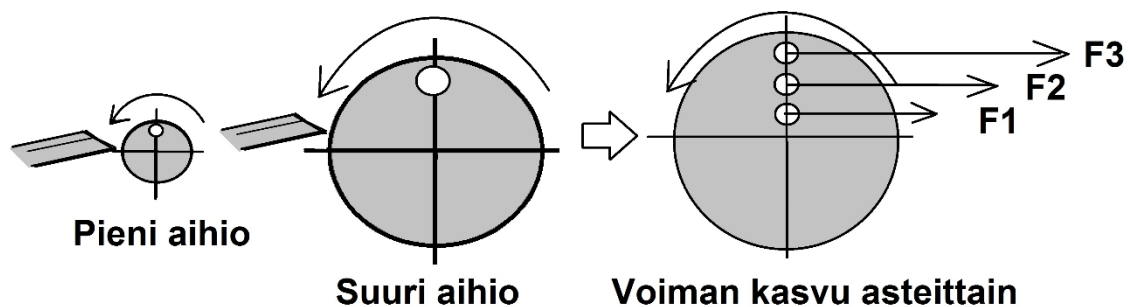
Tämä tarkoittaa sitä, että tietty valmistustarkkuus on valittava ennalta kohdistuen tiettyihin kriittisiin kohteisiin koneessa. Sorvissa esim. liukujohderakenteet, tasojohteet, laakeripesät, karanhalkaisijat, väliholkit ja ym. on tarkoin rajattava, jotta osat liikkuvat halutulla tavalla.

Puusorvissa tarkkuudella on pienempi merkitys puuosien teossa silmämääräisesti. Vasta metallisorvissa rakenteen huono tarkkuus alkaa näkyä heikossa työstöjäljessä.

## 2.7 Voimanlähde

Isoissa metallisorveissa käytetään, joko 1 tai 3-vaiheisia tehokkaita vaihtovirtamootto-reita tehoiltaan esim. 1500W, 4000W ja 10kW, alkuperäisnopeuden ollessa esim. 1700r/min ja nopeusvälityksen vaihtelun n.50-2500r/min [17,18]. Pienoissorveissa tehon ei tarvitse olla niin iso ja niihin käyvät myös esim. tasavirtamoottorit hyvin. Yleensä puusorvit ovat varustettu 1-vaiheisella vaihtovirtamoottorilla. Tehot puusorveilla ovat pienistä malleista isoihin n.200-1200W [14].

Puusorveissa ja yleisestikin tarvitaan yli Ø300mm isohalkaisijoihin aihioihin hidastvälitys n.150r/min ja voimakas moottori. Pienihalkaisijoihin aihioihin ja pinnan viimeistelyyn voi laittaa enemmän nopeutta n.1000-2500r/min ja pienempi tehoinenkin moottori käy. Tämä voiman tarve johtuu vipuvarsi-ilmiöstä kuva 12, siinä isoihin kappaleisiin kohdistuu suurempi aihion liikettä hidastava terän voima, jolloin myös moottorinvoiman tarve on isompi. Isoja aihioita sorvattaessa suurella nopeudella terään syntyy enemmän vastustavaa voimaa ja näin terä tärisee ja kuumenee niin paljon, että työstöjäljestä ei tule hyvää ja käsitaltalla työskentely on erittäin epämiellyttävää [14]. Pienivoimaisilla tasavirtamootto-reilla on hyvä testata tätä samaa käytännössä.



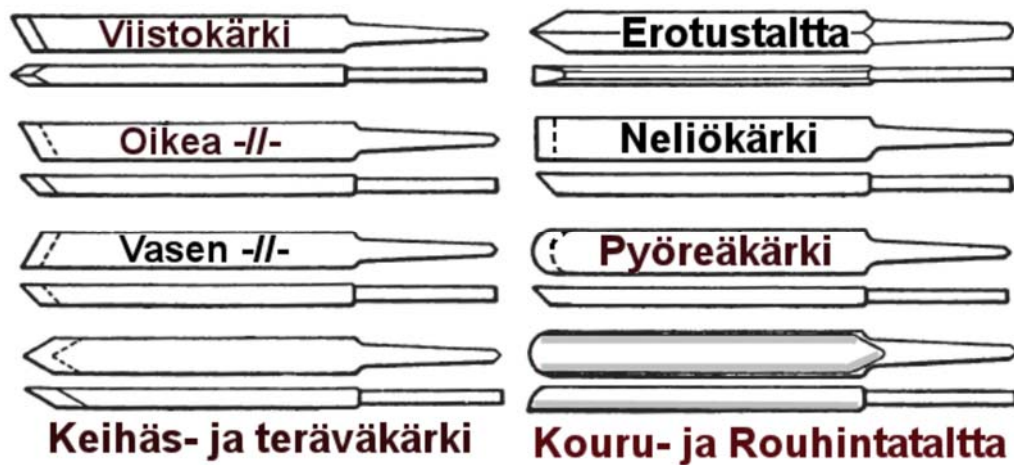
Kuva 12. Voiman tarpeen kasvu vastavoiman edetessä akselista kauemmas.

## 2.8 Taltat ja terät

Tässä osiossa käymme läpi perinteiset taltanmuodot puusorveille ja teräpalojen muodot metallisorveille. Puusorveilla on siis käsin ohjattavat taltat, nimeltä sorvitaltat, jotka eroavat pituudeltaan lyhemmistä koristeveistotaltoista. Taltan kuluessa se hiotaan käsin. Metallisorveilla taas on yleensä teräkelkkaan kiinnitettävät teränvarret, joissa on vaihdettavat

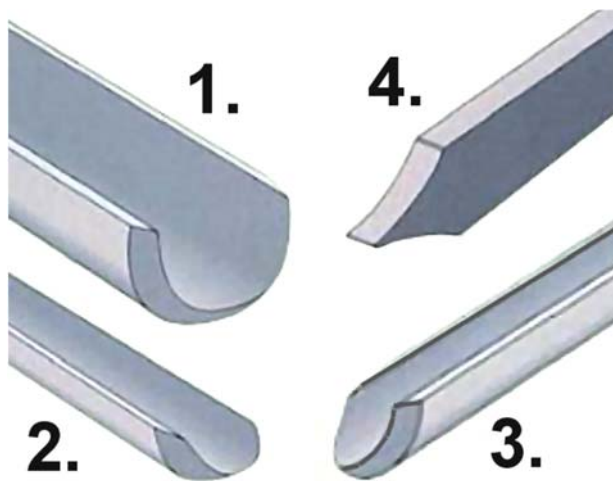
teräpalat. Näiden pienten kovametallisten teräpalojen kuluessa ne vaihdetaan uusiin. Myös pikateräksisiä hiomalla valmistettuja erikoisteriä voidaan metallisorveissa käyttää harvakseltaan, mutta ne kuluvat nopeammin ja vaativat useammin teroitusta [2,4].

Puusorvin perinteiset taltanmuodot ovat esillä kuvassa 13. Ne ovat materiaaleiltaan, joko hiiliteräksestä tai pikateräksestä. Rouhintataltta on suuri ja tukeva, sitä käytetään aluksi aihion pyöristämiseen. Muut kuvan taltat ovat muodon tekemistä varten viimeistelyssä ja erotustaltta on urientekoa varten. Tärkeimmät terän parametrit puunsorvauksessa ovat taltan teroituskulma ja työstökulma, eli se kulma millä taltta kohdistetaan aihioon. Taltan leikkauskulman muuttaminen vinoksi parantaa leikkuujälkeä, sillä terä leikkaa pidemmällä osalla ja näin kuidutkin leikkautuvat vinosti eivätkä repeydy suoraan. Terän kulmista tarkemmin metallisorvin terien kohdalla [13,28].



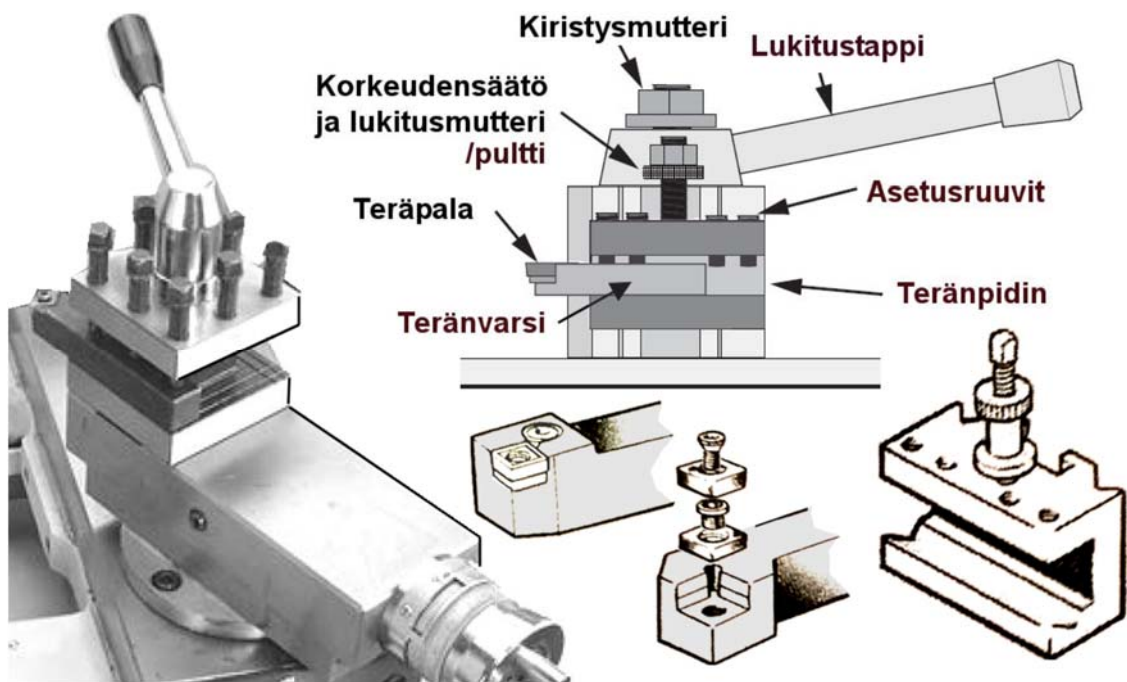
**Kuva 13. Yhteenveto puusorvin taltanmuodoista perustuu lähteeseen [2].**

Kuvassa 14 on lisäksi tarkemmin eriteltynä 1.rouhintataltta teroituskulmalla  $n.45^\circ$ , 2.kourutaltta  $n.35^\circ$  teroituskulmalla, 3.kulhotaltta  $n.55^\circ$  teroituskulmalla ja 4.erotustaltan muoto.



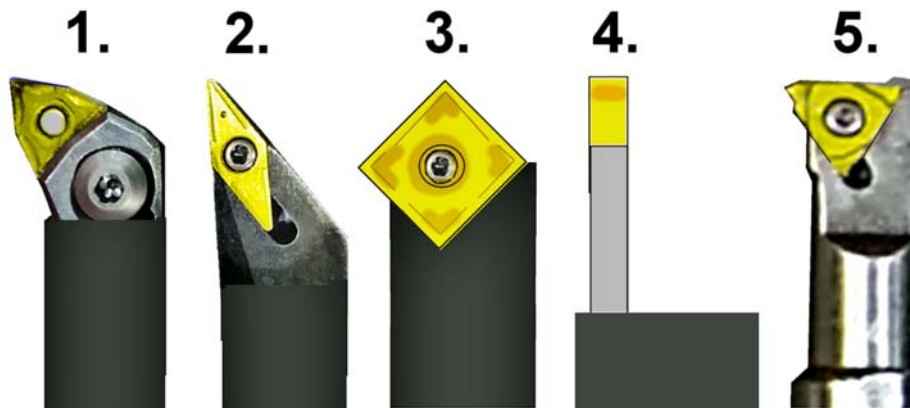
**Kuva 14. Tarkemmat kuvat sorvitaltoista perustuu lähteeseen [13].**

Metallisorvin teräpala ja teränvarsi yhdistelmän kiinnitystapoja on esitetty kuvassa 15. Metallisorvissa on joko kuvan vasemmalla näkyvä tavallinen kiinteä teränpidin tai sitten kuvan oikealla oleva kalliimpi erillinen pikavaihtoteränpidin, jolla mm. teränvarren korkeuden säätö ja vaihto onnistuvat nopeasti. Teräkelkan kiristysmutteria avaamalla ja lukitustappia nostamalla voi pyörittää kelkkaa eri kulmaa tai pika vaihtaa eri terään, joita mahtuu yleensä 4kpl samaan aikaan. Pikavaihtoteränpidin lukitaan teräkelkkaan yhdellä sormimutterilla ja pultilla, josta myös säädetään sen korkeutta helposti. Asetusruuvit tässä 4kpl lukitsevat teränvarren kiinni teränpitimeen. Vaihtoteräpala on kiinni yhdellä ruuvilla teränvarressa [4].



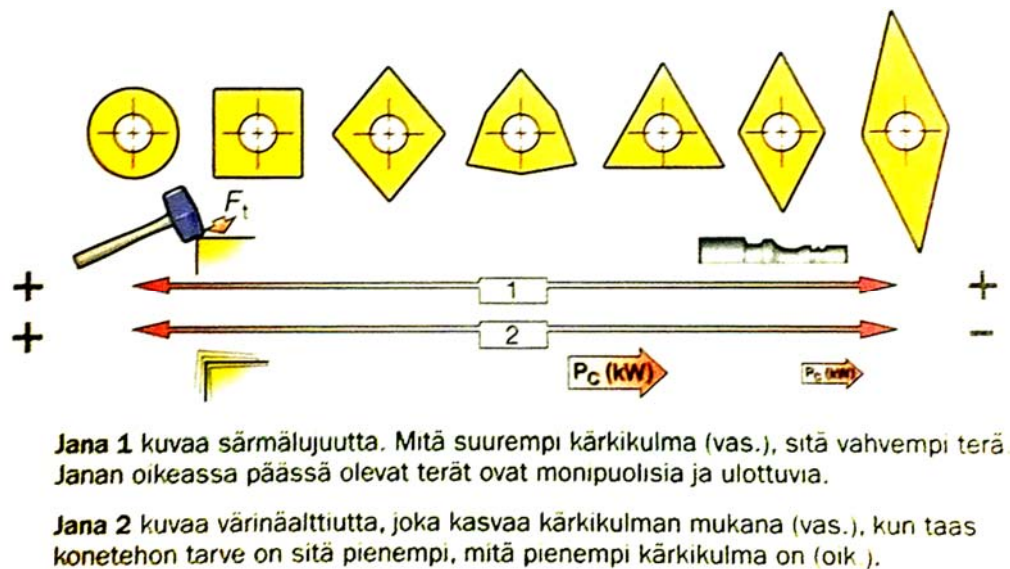
**Kuva 15. Metallisorvin terä ja sen kiinnitystapoja perustuvat lähteisiin [4,18].**

Metallisorvauksessa yleisimmät teräpalat ja niiden teränpitimet ovat esitetty alla olevassa kuvassa 16. Ensimmäinen on rouhintaterä, joka on muodoltaan vahva ja tukeva kestääkseen isoilla lastunsyvyyksillä tehtävää vaativaa rouhintaa. Toinen on pitkä viimeistelyterä, joka on terävä ja tehty antamaan hyvä pinnanlaatu pienillä lastunsyvyyksillä. Kolmas on reunojen viisteytykseen tarkoitettu viisteterä 45° kulmalla. Neljäs on katkaisuterä, jolla katkaistaan työkappale tai tehdään uria siihen. Viides on kierreterä kierteiden lastaamiseen [4].



**Kuva 16. Metallisorvissa käytetyt yleisimmät vaihtoterät.**

Kuvassa 17 on esitetty vaihtoteränpalojen muotoja ja vertailtu niiden kestoa ja syntyvää värinää. Viimeistelyterä oikealla ei ole altis värinälle sen terävän kynämäisen muotonsa takia, mutta on rikkoontumisherkkin, jos sillä työestetään liian voimakkaasti. Rouhintaterä on muotojen keskimmäinen arvoiltaan. Vaihtoteriä on saatavilla eri seoksilla ja pinnoitteilla. Erittäin terävät alumiiniterät sopivat esim. hyvin puulle, muoville ja alumiinille. Terävillä terillä on pieni leikkuuvastus ja näin sorvin tehon tarve alenee. Sama pätee puutaltoille, jotka on pidettävä terävinä, jotta lastuaminen sujuisi sulavasti. Jos terä tylsyy eli kärkikulma pienenee. Tapahtuu kuvan 17 osoittama värinän ja tehontarpeen lisääntyminen [4].

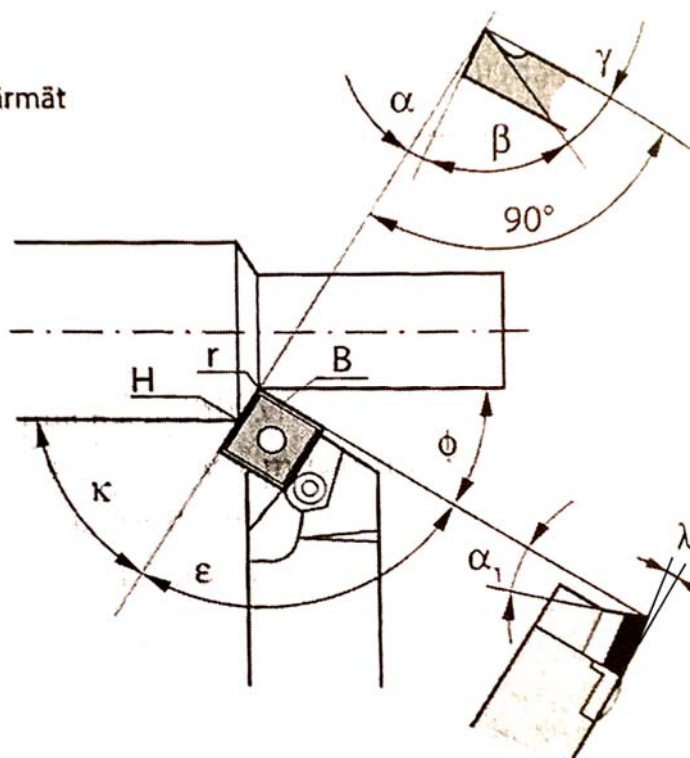


**Kuva 17. Vaihtoteräpalojen geometriat verrattuna kestoon ja värinään [29].**

Metallien sorvauksessa terä on koko ajan kiinni teräpitimessä, jolloin sen asento on muuttumaton. Tällöin on mahdollista ja tärkeää määrittää eri teräkulmat, joita terälle on olemassa. Kuvassa 18 on esillä vakiintuneet nimitykset näille kiinteän terän eri kulmille.

Sorvin terän teräkulmat ja särmät  
työstötilanteessa:

- $\alpha$  = päästökulma (alfa)
- $\beta$  = teroituskulma (beeta)
- $\gamma$  = rintakulma (gamma)
- $\lambda$  = viettokulma (lambda)
- $\kappa$  = asetuskulma (kappa)
- $\epsilon$  = kärkikulma (epsilon)
- $\phi$  = jättökulma (fi)
- $\alpha_1$  = sivusärmän  
päästökulma
- H = leikkaava särmä
- B = sivusärmä
- r = nirkon säde.



Kuva 18. Metallsorvin teräkulmat työstössä [4].

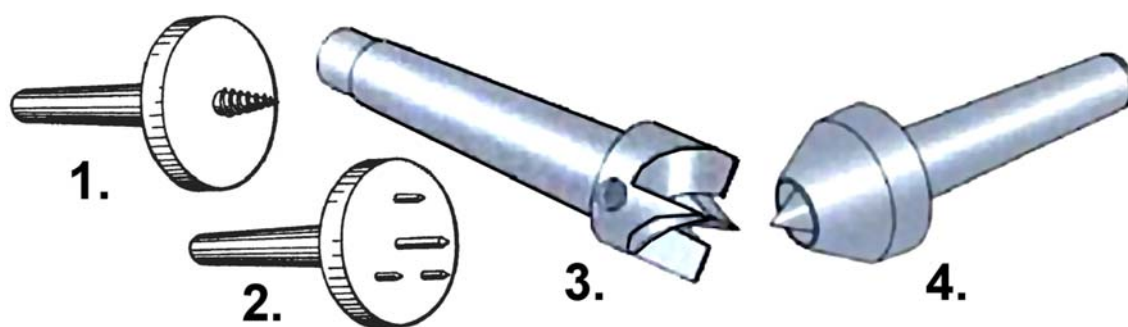
## 2.9 Sorvaaminen

Tähän asti on lukijalle tullut tutuksi sorvin osien nimet, toiminta, terät ja rakennusmateriaalit. Nyt tutustumme käytännön sorvaamisen perusteisiin. Tässäkin osiossa jaamme puusorvauksen ja metallsorvauksen erilleen.

Puusorvaaminen on käsillä pidettävillä terillä, eli taltoilla lastuamista tukeutuen taltantukseen. Kaikki määrittäminen kuten kuinka paljon taltta haukkaa lastunsyvyyttä milloinkin ja taltan poikittaisliikkeen vierittämisenopeus on käyttäjän joustavasti päätettävissä, jolloin työistö vaatii paljon käsityötaitoa onnistuakseen [2]. Puun rakenteet ovat kiinni toisissaan sidosaineella nimeltä ligniini, taltalla näitä rakenteita revitään irti toisistaan käyttämällä talttaa kiilana. Taltan teroituskulmaa pienentämällä leikkauslaatu paranee, mutta terän kesto heikkenee [28].

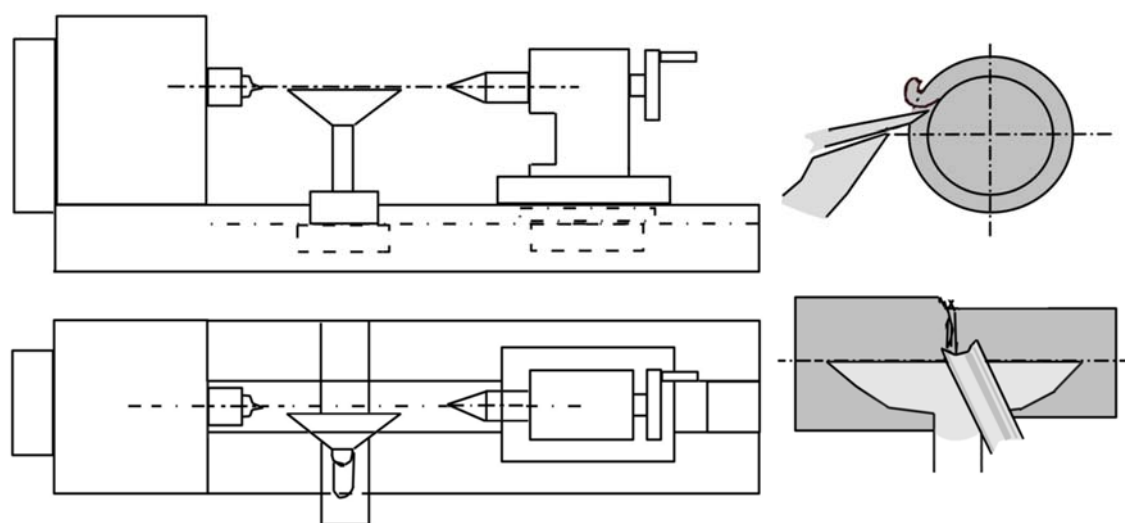
Puuaihion kiinnittäminen sorviin tapahtuu kuvan 19 kaltaisilla kiinnittimillä, joiden teräviin kärkiin aihio lyödään keskeltä tukevasti kiinni. Tässä helpottaa keskiöristin piirtäminen aihion päihin, jotta tarkka keskiön paikka olisi näkyvissä ja aihiota ei kiinnitetä vinoon. Myös alkureiän poraaminen piirretyn keskiön kohdalle auttaa. Kuvassa 19 olevat kärjet ovat nimeltään 1.ruuvikeskiö, 2.piikkivääntiö, 3.nelisakaravääntiö ja 4.keskiökärki. Näiden muunnoksia esiintyy useita [2,13].





**Kuva 19. Karaan kiinnittyvät morsekartioiset keskiöt perustuvat lähteisiin [2,13].**

Ennen kiinnittämistä kannattaa tarkistaa, että kara- ja kärkipylkkä sekä taltantuki ovat asetettuna suoraan linjaan toisiinsa nähden, eivätkä ole vinossa. Muuten valmistuu epäkeskisiä tuotteita. Kuvassa 20 on esitetty oikea linjaus osille. Kärjet voi viedä toistensa lähelle kosketusetaisyydelle, jotta näkee helposti silmämääräisellä tarkastelulla kuinka hyvin ne ovat samankeskisiä. Taltantuki asetetaan korkeussuunnassa joko keskilinjaan tai sen yli riippuen käytetyn taltanterän koosta. Aihion ollessa kiinni taltantuki asetetaan syvyyssuunnassa n.3mm etäisyyteen aihioista sitä samalla kädellä pyörittäen varmistuen, että aihio ei osu taltantukeen [2,13].



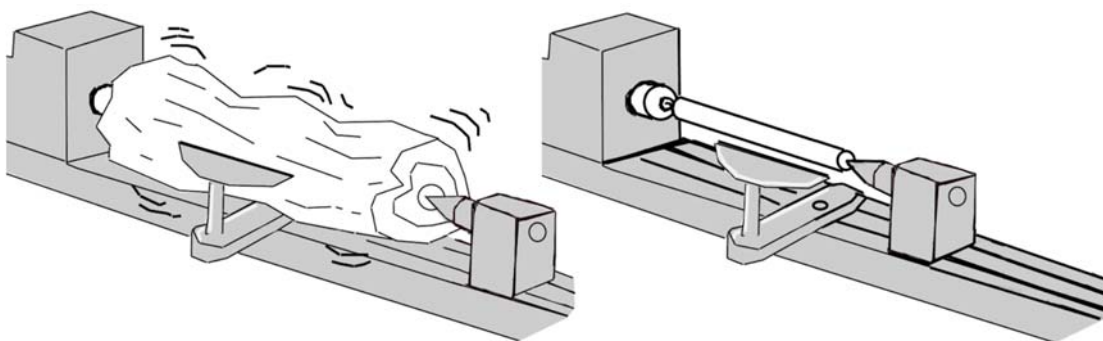
**Kuva 20. Sorvin napojen ja taltantuen linjaus samankeskiseksi.**

Taulukossa 1 on esillä pyörimisnopeuksia riippuen aihion halkaisijasta ja pituudesta. Halkaisijaltaan alle Ø80mm aihiota sorvataan nopeuksilla, jotka sijoittuvat välille 1500-3000r/min. Aihion keskipakovoima kasvaa isoilla nopeuksilla, jolloin aihion tulee ehdottomasti olla pieni, tasapainoinen ja sileäpintainen, muuten jos aihiossa on epätasaisuuksia kuten kuvassa 21 ne aiheuttavat värinää ja vaaratilanteen, jota voi tutkia laittamalla porakoneeseen kiinni epätasapainossa olevan kappaleen. Eli sorvauksen alussa, kun aihio on vielä kantikas ja ei pyöreä kannattaa aloittaa pienillä nopeuksilla ja iso halkaisijaisia aihioita sorvattaessa lasketaan nopeutta 300-500r/min. Sorvattaessa esim.

Ø50mm ja Ø100mm työkappaleita on huomattava, että kappaleen pinnannopeus on puolta suurempi Ø100mm kappaleessa, jolloin nopeutta on täten laskettava [2].

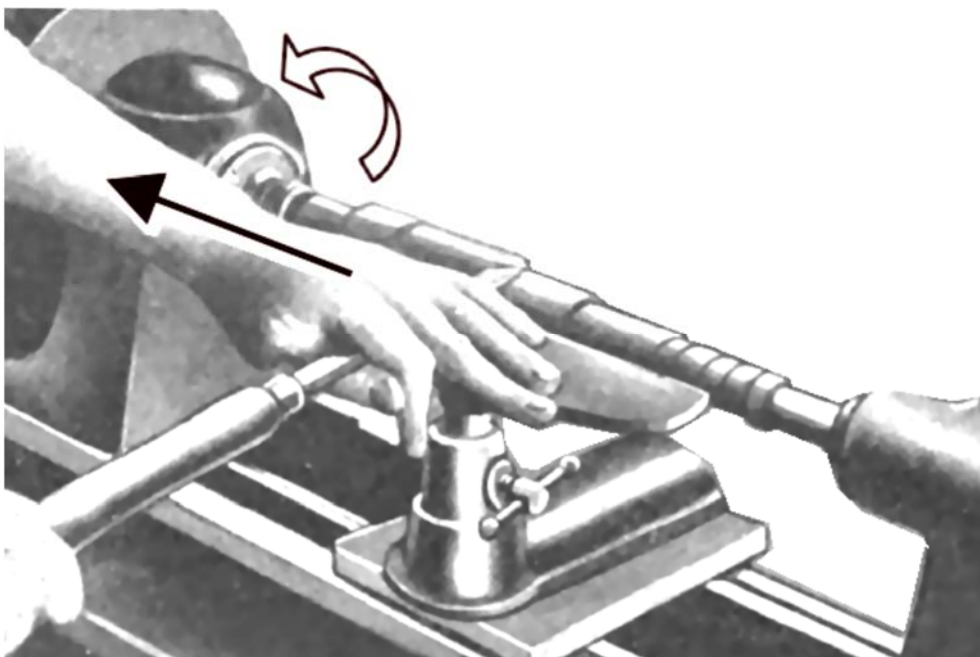
**Taulukko 1. Pyörimisnopeudet puusorvilla perustuu lähteeseen [13].**

Karapylkän pyörimisnopeus r/min			
Halkaisija	Pituus <u>300mm</u>	<u>300-600mm</u>	<u>&gt;600mm</u>
Ø0-60mm	2500	1750	1250
Ø60-100mm	1750	1250	1000
Ø>100mm	1250	750	Hitain



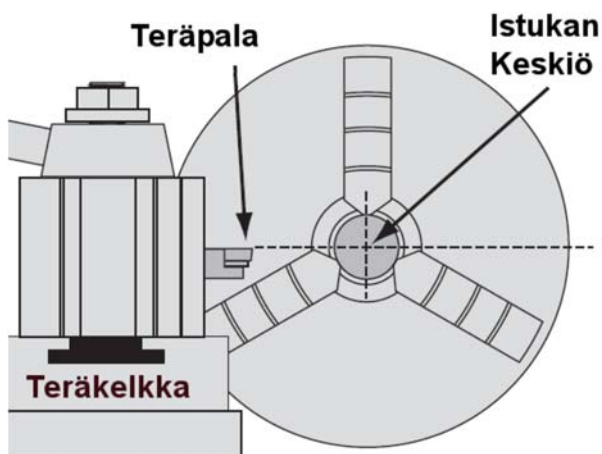
**Kuva 21. Epätasapainoisen suuren aihion vaikutus värinään suurilla nopeuksilla.**

Työstön alussa tapahtuvaa suurta ja epätarkkaa lastuamista kutsutaan rouhinnaksi ja lopussa suoritettavaa hienoa lastuamista viimeistelyksi. Rouhinnassa aihion pinnanlaatu on huonoa, mutta viimeistelyssä se paranee. Tämä perustuu siihen, että sen jälkeen, kun alun epätasapainoinen aihio on rouhittu tasapainoisen esipyöreäksi. Voidaan viimeistely suorittaa isommalla pyörimisnopeudella, tasaisin taltanliikkein, terävämmillä taltoilla ja pienillä lastunsyvyyksillä jolloin talttaan ei kohdistu niin suurta värinää heikentämään aihioon kohdistuvaa työstöjälkeä. Kuvassa 22 on esitetty tyypillinen sorvausasento. Jos mahdollista sorvin korkeus on hyvä asettaa henkilön omakohtaisiin mittoihin niin, että hartiat ovat lepotilassa. Oikea käsi henkilö ottaa oikealla kädellä kiinni taltanvarren päästä ja vasemmalla kädellä ohjaa taltanterää taltantukea vasten kuten kuvassa 22 [2,4].



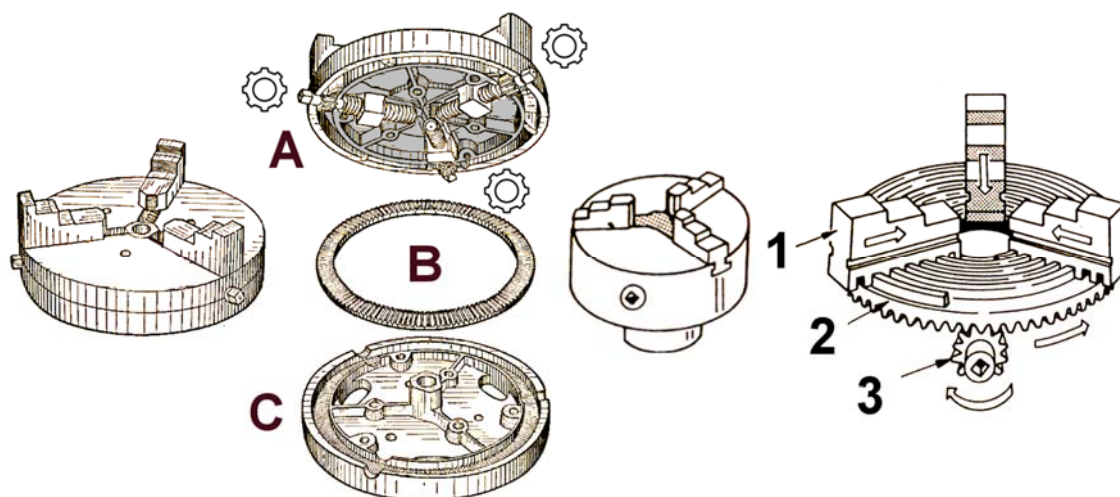
**Kuva 22. Puusorvaus, asento ja työstö [2].**

Metallien sorvaaminen tapahtuu pikateräspalalla tai kovametallisella vaihtoteräpalalla, joka on kiinnitetty erilliseen teränvarteen, joka taas kiinnitetään sorvin teränpitimeen kuten osiossa 2.8 terien kohdalla esitettiin. Teräpalan linjaus tehdään metallisorvilla kuvan 23 lailla, jolloin teräpalan yläpinta osoittaa tasan istukan keskipisteeseen. Terän oikean asetuksen jälkeen voidaan aihio kiinnittää istukkaan. Itsekeskittävä 3-leukaistukka on yleisin istukkatyyppi. Sen 2 tyypillisintä rakennetta on esillä kuvassa 24. Mekaanisesti sen valmistaminen on melko työläs prosessi, jossa valmistetaan hammasrattaita, ym. monimutkaisia muotoja. Se koostuu joko isosta ympyrämäisestä hammasrattaasta, joka pyörittää 3 pientä hammasratasta, jotka ovat kukin liitetty omilla johtoruuveilla liikkuviin leukoihin tai modernimmasta versiosta, siinä on hammastettu kierukkalevy, jossa leuat liukuvat sen urien mukana. Molemmissa kiristys ja avaaminen tapahtuvat vääntöavaimella [4,30].



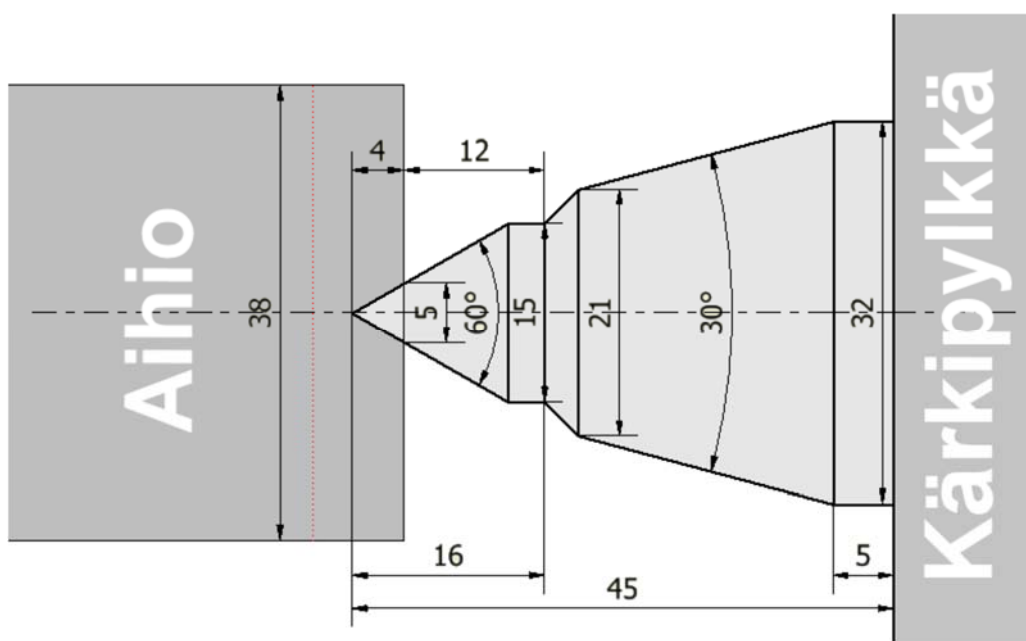
**Kuva 23. Puusorvaus, asento ja työstö perustuu lähteeseen [18].**





**Kuva 24. Istukan rakenteita [3,30].**

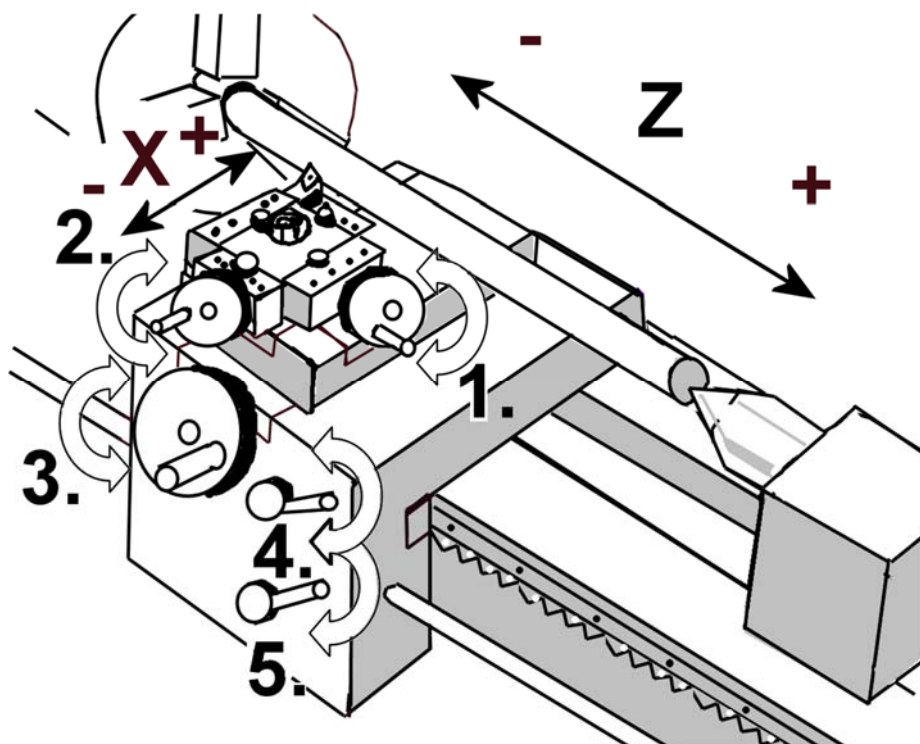
Sorvin kärkipylkkää käytetään usein metallisorvauksessa se estää värinän syntymisen n. yli 100mm pitkällä työkappaleilla tukemalla sitä keskipisteestä. Keskiökärkeä varten porataan  $60^\circ$  keskiöporalla reikä työkappaleen toiseen päähän. Kuvassa 25 on esitetty poikkileikkaus tyypillisestä keskiökärjestä keskikokoisella metallisorvilla. Nämä vapaasti pyörivät laakeroidut kärjet alkavat tyypillisesti  $60^\circ$  kulmalla ja loppuvat pidennettyyn  $30^\circ$  kulmaan [4].



**Kuva 25. Kärkipylkän keskiökärjen tyypillinen muotoilu.**

Metallisorvin liikesuunnat, ohjauskytkimet ja käsikahvat ovat esitettynä kuvassa 26. Ensimmäinen on Z eli poikkisuunnan hienosäätö käsikahva. Toinen on X eli syvyys suunnan hienosäätö käsikahva. Kolmas on Z-akselin karkeasäätö käsikahva, joka liikkuu hammas-

tangolla. Neljäs on konesyötön päälle laittaminen, joko X tai Z suuntaan. Viides on istukan pyörimissuunnan vaihto. Normaalisuunta on vastapäivään CCW eli englanniksi counterclockwise, jolloin aihio pyörii terää kohti [4].



**Kuva 26. Metallisorvin teräkelkan ohjausjärjestelmä.**

Automaattisesti toimiva tasainen konesyöttö metallisorveissa mahdollistaa työstöarvojen laskemisen kohtuullisen tarkasti. Eri aihion materiaaleja varten on määrätty ohjearvoja niiden lastuamisnopeuksille. Lastuamisnopeuden tunnus on  $V$  [m/min]. Tästä arvosta saadaan laskettua muita arvoja. Kuten istukan pyörimisnopeus, jonka tunnus on  $n$  [r/min]. Pyörimisnopeus saadaan laskettua kaavalla (1). Siinä  $d$  [mm] on aihion halkaisija [4].

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (1)$$

Tästä esimerkkinä työstöarvojen laskeminen S355 teräsaihiolle, jonka halkaisija on  $\varnothing 50$  mm. Käytössä on kovametalliteräpala, jonka ohjelastuamisnopeus  $V$  on annettulle materiaalille n. 200 m/min. Istukan pyörimisnopeus on tällöin kaavalla (1) laskettuna 1274 r/min, eli pyöristettynä lähimpään nopeuteen 1200 r/min [4].

Toinen tärkeä valittava arvo on teräkelkan syöttönopeutta kuvaava  $f_n$  [mm/r]. Sen antaman matkan verran terä liikkuu suunnassaan yhden istukan kierron ajan. Tämä saadaan valittua taulukosta 2, josta nähdään, että syötön arvoa voi pienentää ja suurentaa riippuen nirkon säteen suuruudesta ja halutusta pinnanlaadusta.

**Taulukko 2. Syöttö  $f_n$  valitulla pinnankarheudella ja terän nirkon säteellä [31].**

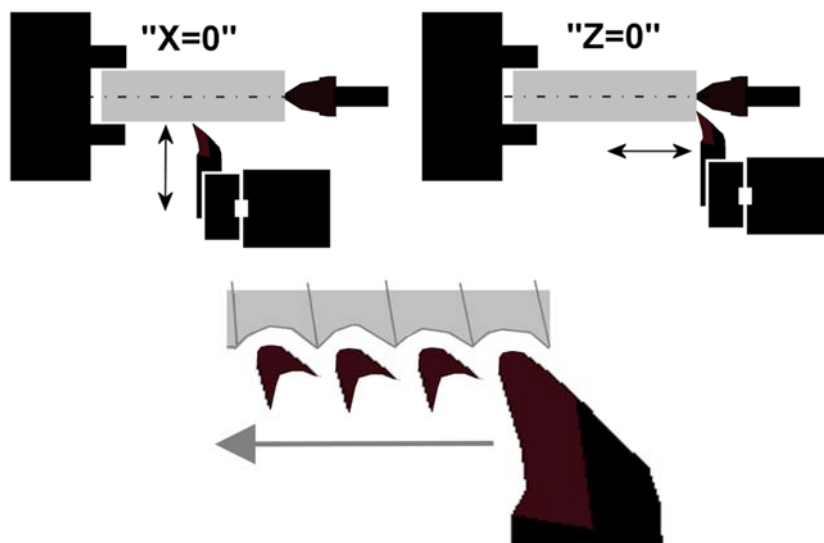
$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )		0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5
		SORVAUS SYÖTTÖ $f_n$ (mm/r)					
NIRKONSÄDE	0,2	0,04	0,06	0,08	0,11	0,16	0,22
	0,4	0,06	0,08	0,11	0,16	0,22	0,32
	0,8	0,08	0,11	0,16	0,23	0,32	0,45
	1,2	0,10	0,14	0,20	0,28	0,39	0,55
	1,6	0,11	0,16	0,23	0,32	0,45	0,63
	2,4	0,14	0,20	0,28	0,39	0,55	0,77

Laskettua kyseisen syötön arvon saa kaavalla (2), jossa  $R_a$  [ $\mu\text{m}$ ] on haluttu pinnankarheus ja  $r_e$  [mm] terän nirkon säde. Lisäksi on huomioitava, että syötön ja lastunpaksuuden suhdeohjearvo on välillä 1/6-1/10. Näin esim. 1mm lastulla voi syöttö olla välillä 0,17-0,1mm/r ja 2mm lastulla 0,3-0,2mm/r. Viimeistelyssä syöttö on yleensä alle 0,2mm/r [4,31].

$$f_n = \sqrt{\frac{R_a \cdot r_e}{50}} \quad (2)$$

Tarkempia ohjetyöstöarvoja antaa usein teränvalmistajat kuten Sandvik, Kennametal ja Seco. Erikoispinnoitteisten terien työstöarvoista kannattaakin kysyä valmistajalta suoraan, sillä ne kestävät vaativampaa työstöä ja näin niiden arvot ovat yleensä parempia kuin mitä yllä olevat kaavat antavat.

Metallisorveilla sorvaus aloitetaan pääty ja halkaisija kosketuksilla aihioon, jolloin osiossa 2.2.2 esitelty digitaalinen mittalaite nollataan ja aihion nollapiste eli origo määrätään siihen. Tämän viitepisteen, jonka X ja Z koordinaatit ovat (0,0) mukaan työstetään työkappale mittoihinsa. Alkuasetuksesta ja työstöstä esimerkki kuvassa 27 [4].

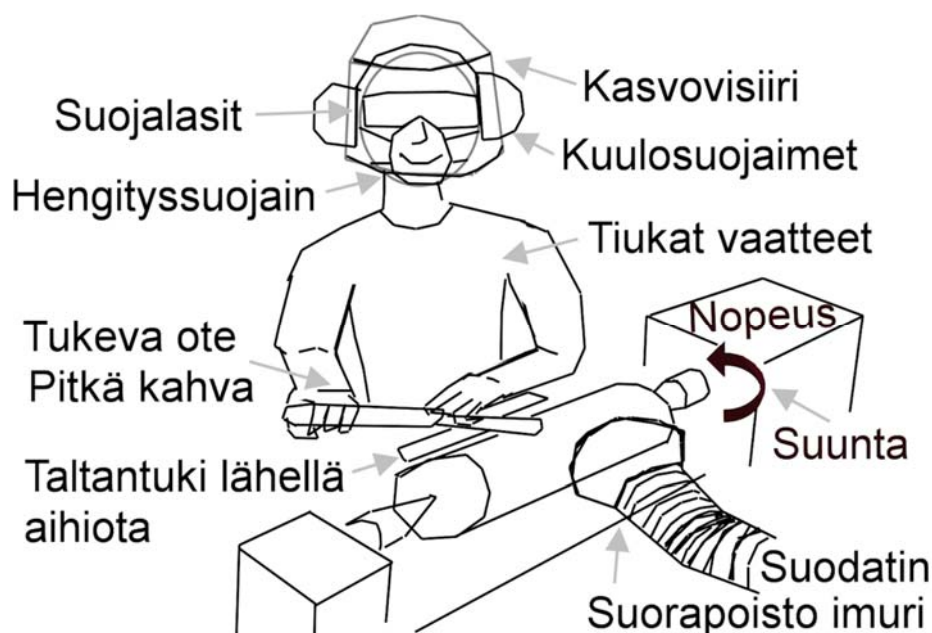


### **Kuva 27. Metallisorvin aihion origon hakeminen ja suurennettu työstöjälki.**

Yhteenvedona erot puusorveilla ja metallisorveilla ovat tehontarpeissa, tukevuudessa ja kiinteän terän tarjoamissa hyödyissä, joka mahdollistaa isoimpana hyötynä konesyötön antaman tasaisen työstöjäljen syntymisen. Metallisorvaus on kiinteän terän myötä täydellisesti hallittavissa, jolloin inhimillisiä erehdyksiä ei synny ja tuotteet ovat aina tasalaatuisia. Huomiona on kuitenkin, että vasta kalliimpi numeerisesti ohjattu automaattisorvi pystyy puhtaasti muotosorvaamaan ja manuaalinen metallisorvi vaatii tähän useita muototeriä. Materiaalina tasalaatuinen metalliaihio on helpommin työstettävissä kuin puinen aihio, koska puun luontainen syyrakenne repeytyy työstettäessä, kun taas metallilastu muodostuu ja katkeaa tasaisesti.

## **2.10 Turvallisuus**

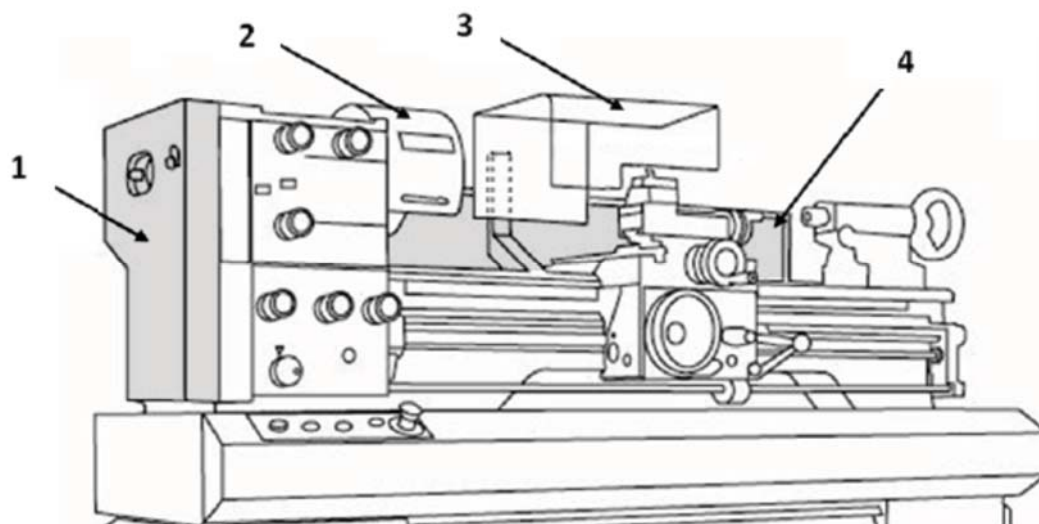
Puusorveissa on avoin rakenne, jolloin henkilönsuojaimet ovat ainoita suojia, mitä on käytössä. Itse puusorvissa ei siis ole erillisiä suojia tai turvakehikoita vaan sen karat ovat avoimia. Tämän takia paineet suojautumiselle asetetaan niissä omakohtaisesti käyttäjälle. Suositeltavat suojavarusteet ovat kasvojen suoja visiiri, joka peittää koko kasvon, pölyn-suodatusvarusteet ja kuulosuojaimet. Nämä ovat esillä kuvassa 28. Tärkeimpänä asiana on, että useiden kotimaistenkin puulajien pöly itsessään aiheuttaa jo vakavan terveysriskin, joten ilman pölyn-suodatusta ei ole suositeltavaa työstää puuta. Monien puulajien kuten mm. tammen, pyökin, puksipuun, ruusupuun ja tulppaanipuun pölyn on todettu olevan karsinogeenia. Tauteja kuten astmaa, pölykeuhkoa, keuhkoputken tulehdusta, keuhkoputkien ahtautumaa ja syöpää, kuten nenäsyöpää esiintyy puupölyjä hengittäneiden keskuudessa myös Suomessa. Täten on ensiarvoisen tärkeää, että henkilö suojautuu pölyltä ja tilassa on jatkuva pölyn suorapoisto toteutettuna suodattimella varustetulla imurilla [13,32].



**Kuva 28. Puusorvin suojavälineet ja turvallinen käyttötapa.**

Puusorveissa kasvovisiirin paksuus on merkittävä tekijä ulkopuolisen iskun vastaanottamisessa. Terävät sorvitaltat vähentävät kitkaa ja koneenvoiman tarvetta. Käyttäjän väsymys, oikea nopeuden ja suunnan valinta sekä oksat aihiossa vaikuttavat työstöön. Hengityssuojaimissa oikea suojausluokka on tärkeä. Puolinaamareilla joilla on vaihdettava suodatin, valitaan P3 (engl. particle) ja suodattavilla kiinteillä puolinaamareilla valitaan FFP3 (engl. filtering facepiece). Hengityssuojainten suodatustehokkuuden luokkia käydään alan standardeissa tarkemmin läpi sekä kuulosuojaimien suojaustasoa esitellään myöskin standardeissa enemmän. Yleisluontoisesti puusorveissa desibelit vaihtelevat n.70-90dB välillä ja ne ovat hiljaisempia kuin metallisorvit työstön aikana [13].

Manuaalisissa metallisorveissa on hieman enemmän koneeseen asennettuja suojia ja automaattisissa numeerisesti ohjatuissa sorveissa on koko kone suojattu koteloimalla, jolloin numeerisesti ohjattua konetta pystyy käyttämään vähäisin henkilönsuoja turvavarustein. Suositeltavia henkilönsuojia ovat suojalasit, kuulosuojaimet, viiltosuojakäsineet ja työhaalarit. Metallisorvin turvallisuusnäkökulmat työstökoneena löytyvät standardista SFS-EN ISO 23125. Se luettelee vaarat mitä pyörivä akselisesta sorvista voi käyttäjälleen aiheutua ja käy läpi tavallisimpia turvalaitteita mitä metallisorveissa tulee löytyä. Mekaaniset-, pöly-, melu-, nesteidenpurkautumis- ja sähköiskuhaitat ovat vaaroja mitä sorveissa voi ilmetä. Kuvassa 29 on esillä manuaalisen metallisorvin henkilönsuojauksratkaisuja [4,33].



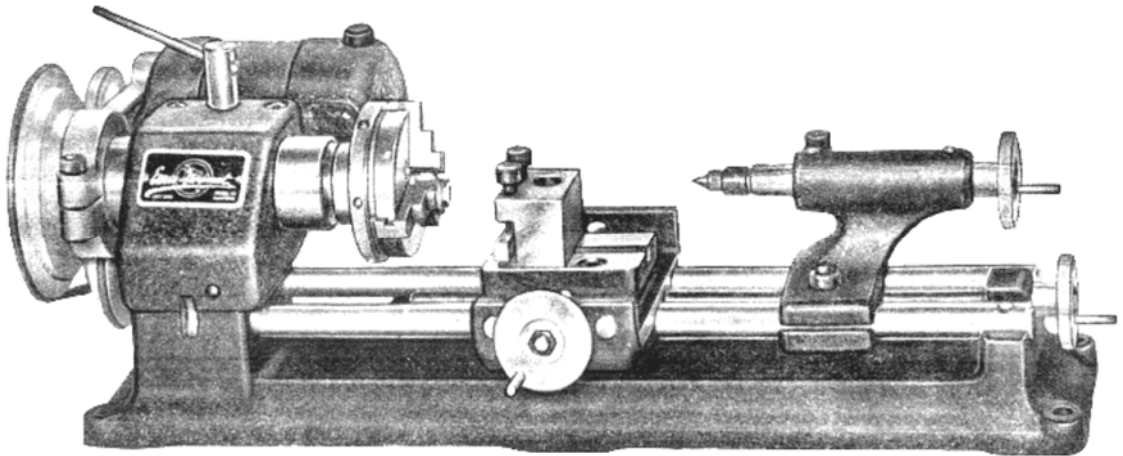
**Kuva 29. Metallisorvin suojavälineet [33].**

Kuvassa 29 ensimmäinen numero osoittaa liikkeessä olevien hammaspyörien ja hihnojen suojaluukkua. Toinen numero on istukan suojakaari. Kolmonen kuvaa etupuolen lastu- ja roiskesuojaa, joka on kirkkaasta ja tukevasta muovista tehty sekä paksuudeltaan n.4mm ylöspäin. Numero neljä on yleensä rautalevystä tehty takapuolen lastu- ja roiskesuoja, joka suojaa takana olevia henkilöitä ja ohjaa työstön aikaiset lastut ja nesteet alakaukaloön, jolloin ne eivät lennä ympäristöön [33].

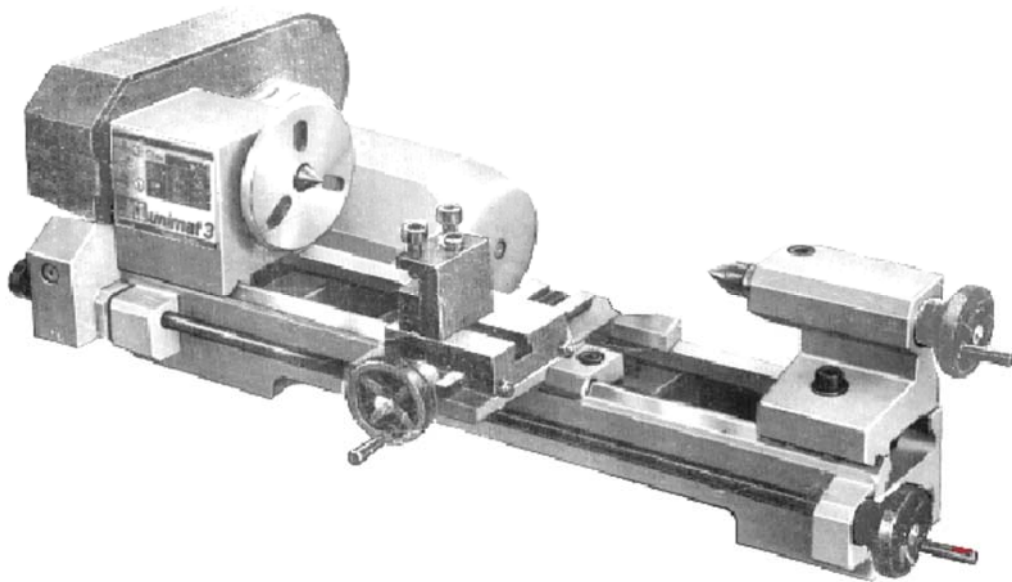
## 2.11 Piensorvit

Pienoissorveilla on monta nimeä kuten miniatyyri-, pienoismalli-, mini-, pöytä-, koru ja kellosepänsorvi. Ensimmäisen modernin, taloudellisesti merkittävän ja laajalle levinneen pienoissorvi valikoiman julkaisi Emco 1950-luvulla. Tätä ennen harrastelijoille suunnattuja pienoissorveja oli yritetty markkinoida ihmisille monitoimikoneina jo 1800-1900-luvun vaihteessa, mutta vahva vakiintunut brändi, nopea valmistus ja tehokkaat levityskanavat puuttuivat silloin. Emco:n Unimat hyödynsi kaikkia näitä ominaisuuksia. Tyyppillisiä Unimat malleja on kuvattuna kuvissa 30 ja 31. Näitä valmistettiin eri kokoisina, myös isompiakin malleja on olemassa. Huomiona kuvissa siirtyminen alun terästanko rungosta taso- ja lohenpyrstöjohteisiin [34].





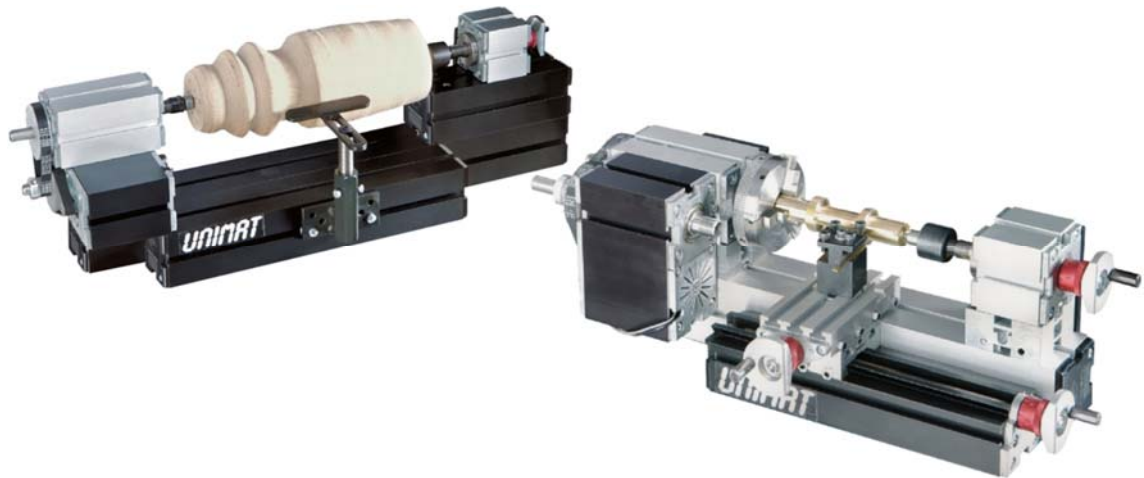
**Kuva 30. Unimat Mk.2 1950-luvulta rungon pituus n.407mm [34].**



**Kuva 31. Unimat 3 julkaistu vuonna 1976 [35].**

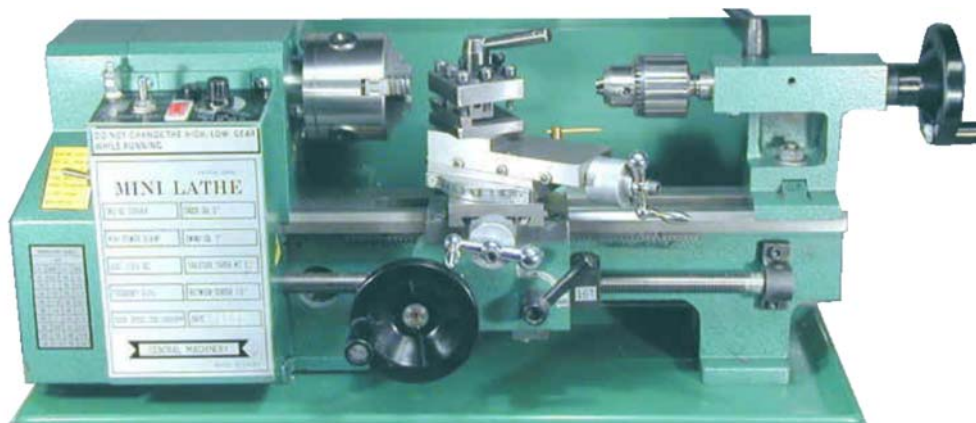
Emco:n Unimat Mk.1 esiteltiin vuonna 1953 itävaltalaisen Maier & Company:n valmistamana. Mallia valmistettiin juoksevasti numeroituna Unimat Mk.4 malliin asti 1960-luvulle tultaessa. Yhtiön tunnetuimmat merkit julkaistiin 1960-luvulla nimillä DB200 Amerikassa ja SL1000 Euroopassa. Myös Emcomat ja Maximat tuotemerkit tulivat 1960-luvun lopulla. Unimat 3 malli ilmestyi vuonna 1976 ja Compact-malleja valmistettiin välillä 1981-1992. Kunnes tuotanto loppui 1990-luvun alussa. Vuonna 1996 ilmestyi halvempi rakenteinen Taiwanissa valmistettu Unimat 4, joka oli laadultaan aikaisempia heikompi. Sen valmisti Taiwanilainen tehdas, joka valmisti useille muillekin yrityksille kuin vain Emco:lle vastaavia maahantuotuja yleispienoissorveja, jotka olivat ominaisuuksiltaan samoja, mutta varustettiin vain eri logoilla ja värityksillä. Nykyään 2000-luvulla esiintyy useita vastaavia aasialaisia halpa pienoissorveja. Emco lopetti Unimat-sorvin tekemisen 4 malliin. Kuitenkin Unimat 1 nimeä kantavaa modulaarista pienoissorvia kuten kuvassa

32 esillä olevaa valmistaa nyt 2010-luvulla The Cool Tool GmbH niminen yritys Itävallassa [34,35].



**Kuva 32. The Cool Tool GmbH vuonna 2016 valmistama Unimat 1 MetalLine [36].**

Rakenteeltaan vahvempaa pienoissorvia edustaa kuvassa 33 näkyvä tyypillinen kiinalainen pienoissorvi, jossa on mm. teräkelkan konesyöttö syöttökaralla.



**Kuva 33. Kiinalainen 2000-luvun pienoissorvi [37].**



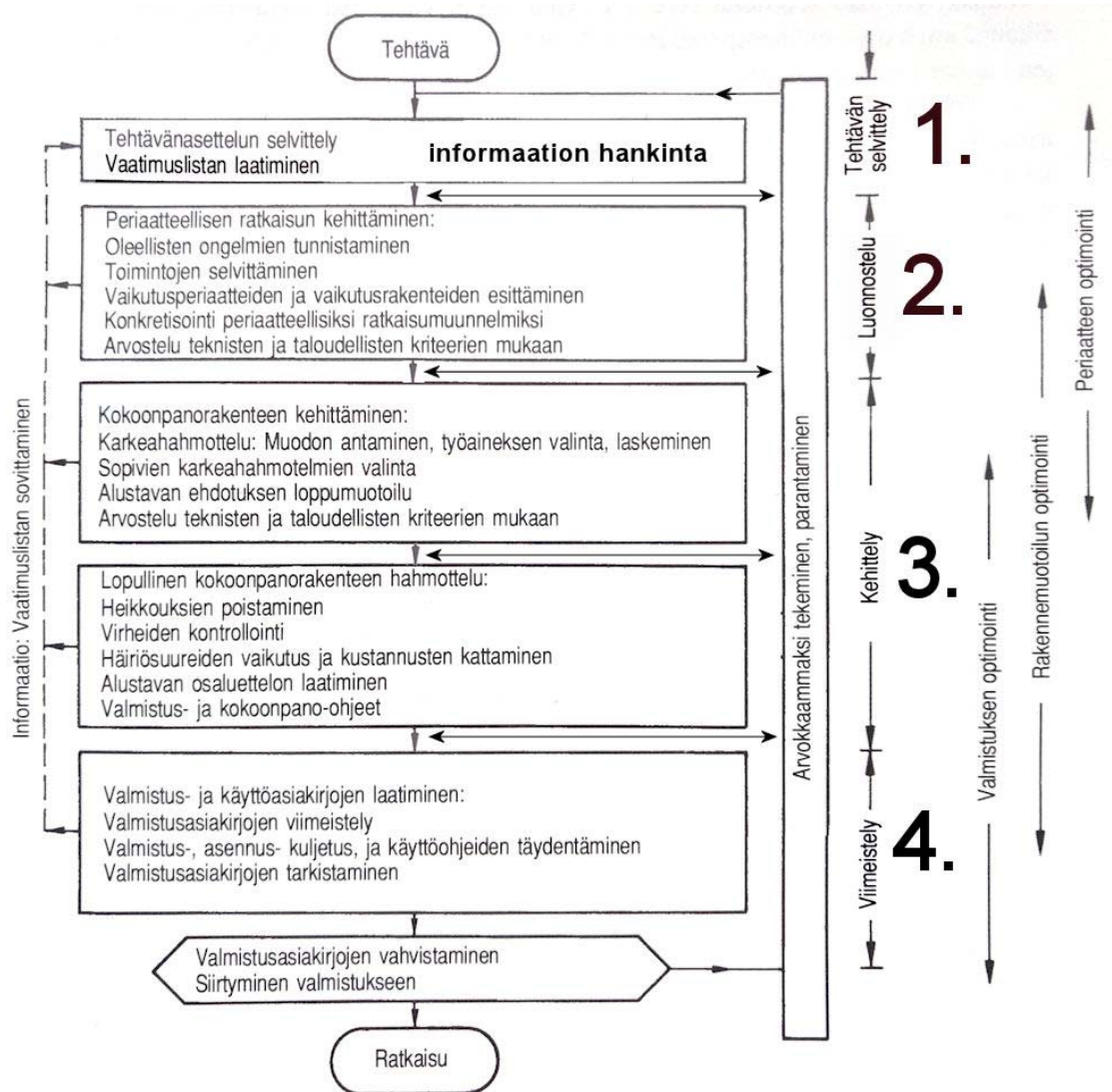
## 3. SUUNNITTELU

Suunnittelussa kehitetään ja vertaillaan eri ideoita mahdollisten pienoissorvin rakenteiden luomiseen konstruktiiivisella tutkimusotteella. Tiedonkeruumenetelminä toimivat kirjalliseen materiaaliin tutustuminen ja kokeilu. Tämä osio vastaa miksi jokin rakenne tehdään näin ja miksi rakenne on valittu lopulliseen valmistettavaan pienoissorviin, joka esitetään osiossa toteutus.

### 3.1 Pahl:in ja Beitz:in konstruktio-oppi

Koneenrakentamisen suunnittelumenetelmänä työhön on otettu malliksi Pahl:in ja Beitz:in laatima menetelmä jota voi soveltaa konstruktiossa. Teoksessaan he ovat kuvanneet kuvan 34 kaavion mukaiset työaskeleet, joita etenemällä päädytään lopulta ratkaisuun. Koneen aikaansaaminen alkaa 1.informaation haulla ja vaatimuslistan selvittämällä, josta edetään 2.luonnosvaiheeseen, jossa vahvistetaan ratkaisun periaate eli luonnos toimintarakenteiden ja ongelmien tunnistamisella. Kehittelyvaiheessa 3. suunnitellaan täydellisesti tuotteen kokoonpanorakenne ja vahvistetaan se lopullisesti eri arvostelujen kautta tapahtuvan muokkaantumisen kautta. Kehittelyvaiheessa koneen osat ja toiminnot muokkaantuvat edullisimpien rakenne-ehdotusten mukaan parhaimpaan mahdolliseen ja heikkoukset pyritään poistamaan. Viimeistelyssä 4. määrätään mitat, pinnanlaadut, materiaalit, kustannukset valmistus ja piirustukset eli määritetään valmistustekninen osa. Nämä kaikki vaiheet ovat melko karkeasti jaettu ja on hyvin mahdollista, että niiden rajat eivät päde kaikissa suunnittelutöissä vaan päällekkäisyyttä tapahtuu [38].

Tässä työssä 1.askeleen kattavat osiot johdanto ja sorvin perusteet. Luonnosvaiheen askeleen 2. ja kehittelyvaiheen askeleen 3. kattavat suunnitteluosio sekä viimeistelyaskeleen 4. kattaa toteutusosio.



Kuva 34. Pahl ja Beitz konstruktion työnkulku perustuu lähteeseen [38].

### 3.2 Sorvin ja aihion koon valinta

Pienoissorvin suunnittelun aloitus perustuu maksimi aihion kokoon, jota sillä pystyy työstämään. Aihion koon on tarkoitus olla sopivan suuri, jotta sorvilla pystyisi tekemään monipuolisesti isoja ja pieniä töitä. Tämän vastapainona taas on sorvin ulkomittojen eli pituuden, leveyden ja korkeuden pitäminen pienenä, jotta se ei vie tilaa ympäristöltä ja varastointi olisi helppoa. Rakenteiden toisaalta pitäisi olla tukevia, jotta työstön tärinä olisi minimaalista ja tarkkuus hyvää. Samalla painon on kuitenkin oltava kevyt helpon siirrettävyyden eli paikasta toiseen liikuttamisen takia. Kuvassa 35 on esillä nämä vastakohtat koottuna.



**Kuva 35. Vastustavat ominaispiirteet.**

Näihin ominaisuuksiin vedoten päädyttiin pienoissorvin lopullisen painon asettuvan n.25-35kg, sorvin pituus rajattiin 900mm ja leveys 240mm. Nämä mitat valittiin siksi, jotta pienoissorvia pystyisi nostamaan helposti yksi ihminen molemmilla käsillään, eikä useamman nostajan tai nostoapuvälineen tarvetta olisi. Materiaaliksi valikoitui rakenneteräs S355, jonka saatavuus ja tukevuus-hintasuhde ovat parhaimmat materiaaleista. Lopuksi päädyin valitsemaan maksimi aihion halkaisijaksi n. Ø100mm ja pituudeksi eli kärkiväliksi 500mm.

### 3.3 Modulaarisuus

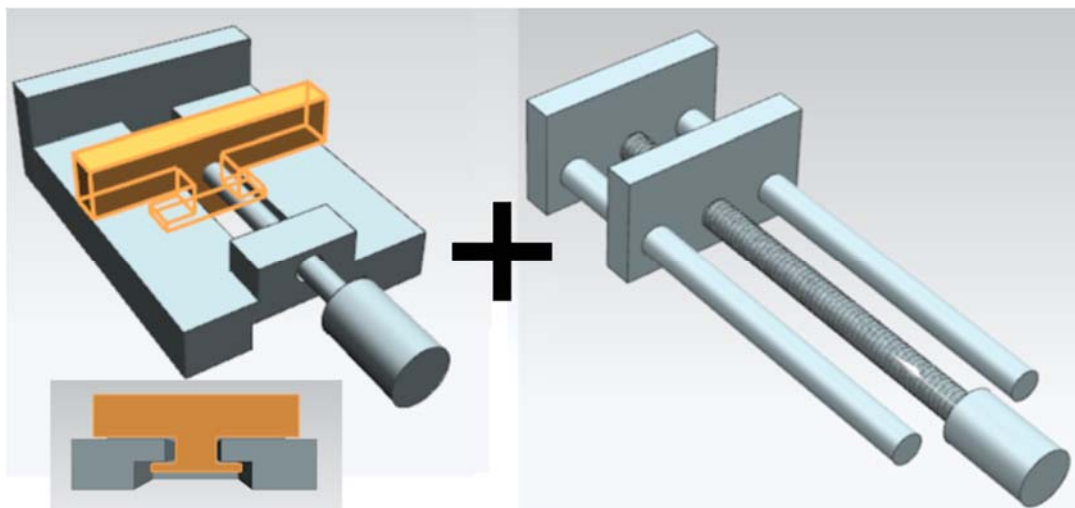
Monipuolinen käyttö ja muunneltavuus ovat tarkoituksena työn sorvissa. Sitä on voitava käyttää sekä puu- että metallisorvina ja vaikka esim. tavallisena konepuristimena kun tarve on. Aihion ja terän kiinnityksen lisävarusteita siihen on voitava liittää helposti ja kaikki liitettävyydet tehtävä mahdollisimman yleismaailmallisiksi. Pulttikooksi valittiin M10x1.5, jota käytettiin kaikkiin muihin liitoksiin paitsi karojen kiinnitykseen ja liikeruuveihin. Voiman lähteeksi koneeseen voisi valita itse mieluisimman kokoluokan moottorin, joten pienoissorvin rakenteita ei työssä rajata hyväksymään vain tietyn kokoisia moottoreita. Päivitettävyyys olisi siis mahdollista tulevaisuudessa helposti ilman, että sorvin piirteitä lukittaisiin suunnittelussa. Tarkoituksena tässä on tehdä kone, josta käyttäjät voisivat lisäillä haluamansensa.

### 3.4 Muotoilu

Muotoiluun kiinnitettiin huomiota siinä, että kokonaisuuden täytyi näyttää mahdollisimman yhtenäiseltä, laadukkaalta ja hillityn arvokkaalta. Muodot tulisivat olemaan ennen kaikkea käytännöllisiä ja käyttömukavuudeltaan huippulaatua. Tilavuudeltaan osat tehtiin mahdollisimman tehokkaiksi ja tukevuudeltaan vahvemmiksi kuin sen kokoluokan sorveilta odottaisi. Osat kehitettiin ylittämään odotukset pienoissorvilta ja ylläpitämään pitkää kestoikää sekä vähäistä huollettavuutta. Näin rakenteesta tuli samalla tiivis, mutta jämäkän näköinen ilman materiaalien säästeltyä käyttöä.

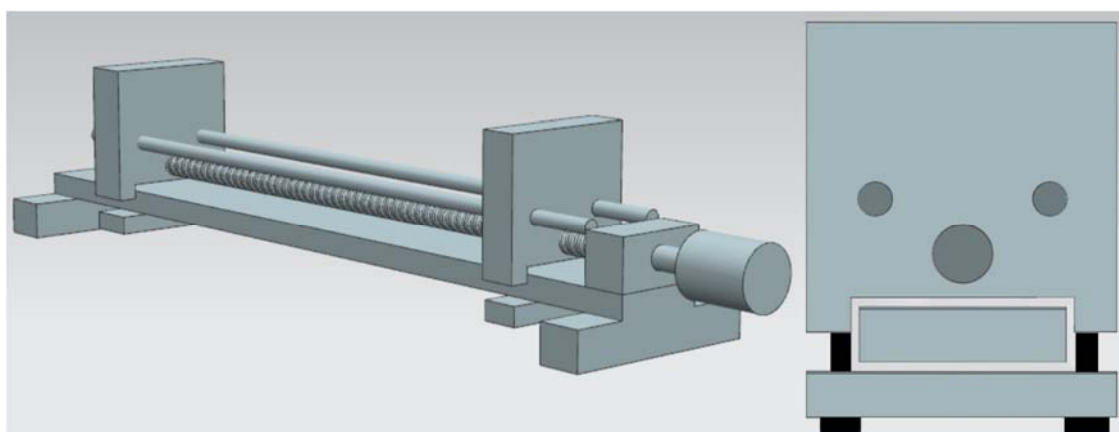
### 3.5 Runko

Pohjaksi rungon johteiden suunnittelulle otettiin kuvassa 36 näkyvät kone- ja puupuristimet. Konepuristimissa käytetään kahdella tasojohteella liikkuvaa kelkkaa, joka on pohjasta tuettu erillisellä lattatuella. Näin kelkan poikkileikkaukseen syntyy T-muoto. Puupuristimissa taas käytetään johteina kahta pyörötankoa, joissa kelkka liikkuu.



**Kuva 36. Kone- ja puupuristin**

Tässä pienoissorvissa päädyttiin käyttämään molempia johdetyyppejä sekä taso- että pyöröjohteita liikkeen saamiseksi tasaiseksi ja suoraksi. Kuvassa 37 on kuvattu tämä yhdistäminen. Siinä on kuitenkin vain yksi tasojohde edullisemman ja yksinkertaisemman rakenteen vuoksi. Tämä tasojohde muodostaa pääkiskon sorvin eri kelkoille ja hieman ylempänä johtoruuvia ovat sitten pyöröjohteet lisäkohdistusta antamaan, jotta niiden tukemat tasot, eli laakeripukit olisivat paremmin suorassa toisiaan vasten.

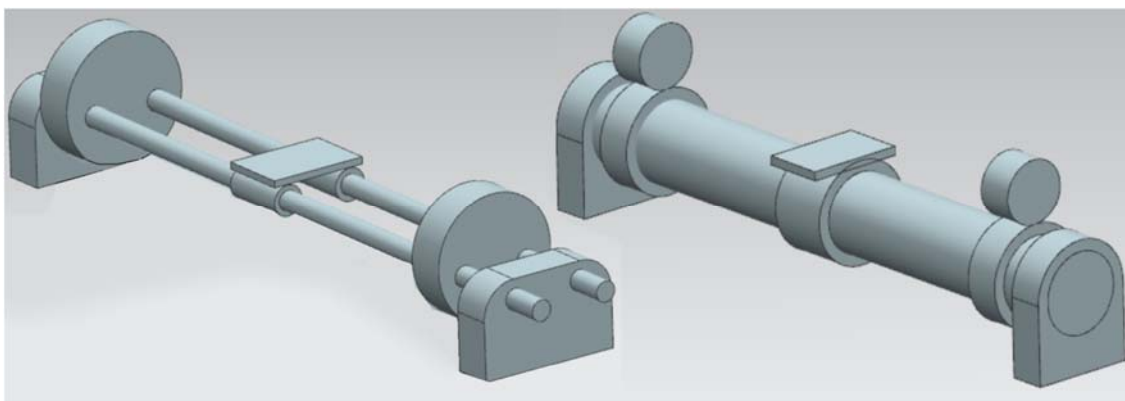


**Kuva 37. Kone- ja puupuristimen yhdistelmä muodostaa sorvin päärakenteen.**

Tähän runkosuunnitelmaan sijoitetaan sitten osiossa 3.6 sorvin navat laakeripukkeihin. Huomiona runko voi olla myös kokonaan pyöreän muotoinen ja kelkat esim. putkista

tehty kuten kuvassa 38 on luonnosteltu, mutta tässä työssä on päädytty kantikkaaseen muotoiluun, jotta koneistuksessa kappaleet saataisiin helpommin kiinnitettyä ilman tarvetta puristimien vaihdolle. Muotokysymys on siis lopulta mieltymyksen mukaan, jokinlainen valinta näiden esitettyjen välillä. Kaikki nämä johdeprofiilit toimivat hyvin oli kyseessä sitten tasojohde tai pyöröjohde. Huomiona perustasojohdetta voi kehittää edelleen erikoismuodoilla, kuten kuvan 8 itsekeskittävillä harjajohteilla, jolloin tasoon koneistetaan lisäksi prisman muotoja tai lohenpyrstöjohteilla, jotka lukitsevat kelkan sisäänsä kiilamaisesti. Tässä työssä pyritään kuitenkin edulliseen ja yksinkertaiseen valmistukseen, jolloin nämä jätetään pois.

Materiaalin paksuudeksi rakenteisiin päädyttiin S355 teräkselle kokeilun perusteella välille 20-30mm. Tästä valittiin lopulta 30mm, koska seuraavassa osiossa laakerit määräsivät tämän minimipaksuudeksi ja yhtenäisen muotoilun perusteella 30mm valittiin kaikkiin muihin rakenneosiin, paitsi runkoon jäi 20mm paksuus.



**Kuva 38. Koottuja luonnoksia pyöreään muotoiluun panostavista sorveista.**

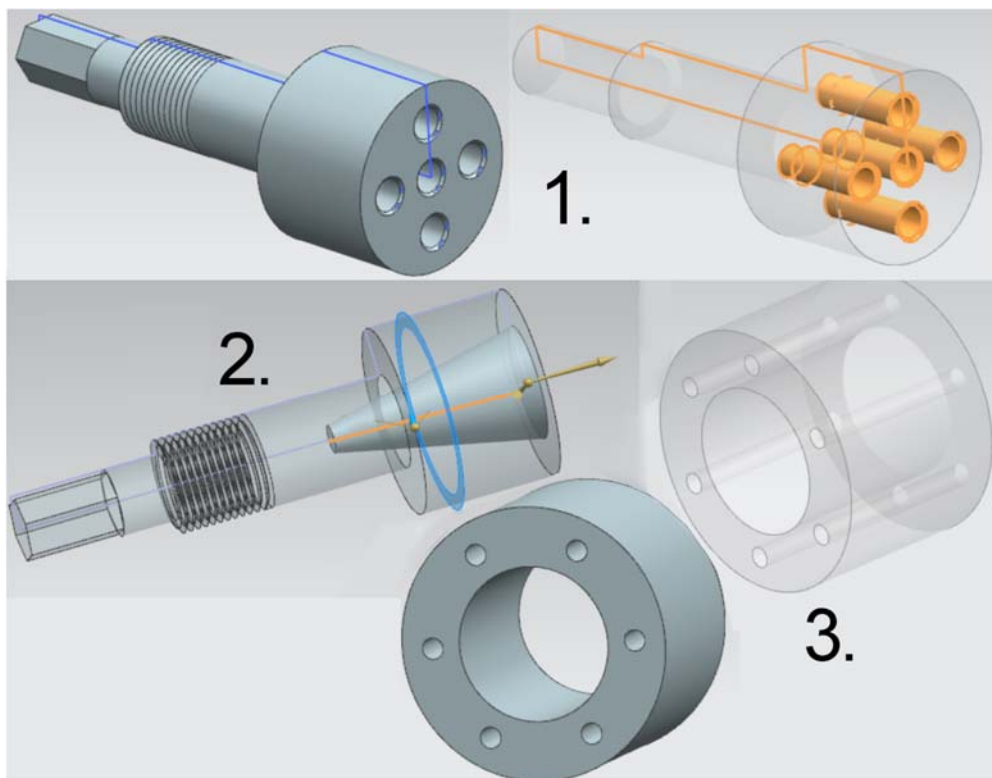
### 3.6 Karat ja ympyräliike

Jotta kuvan 37 runkoon voitaisiin lisätä napojen paikat. Palataan vaatimuksiin, joiden mukaan halkaisijaltaan Ø100mm aihio pitää mahtua pyörimään napojen välillä runkoon törmäämättä. Näin tehtävien navanreikien etäisyys johteista asetetaan n. 55-60mm.

Sorvin navat ovat karapylkkä ja kärkipylkkä. Nämä pyörivät ideaalilanteessa kitkattomasti akselinsa ympäri, jolloin ainoaksi reaali maailman vastikkeeksi tähän muodostuivat kuula- ja rullalaakerit. Muita kuten muovisia tai pronssisia liukuholkkeja ei niiden suuren kitkan takia akseleille kannata sovittaa. Tässä kehittelyn kohteeksi muodostui siten napojen ideaalisen akselihalkaisijan selvittäminen. Kokeilu aloitettiin Ø20mm, joka havaittiin hyväksi kooksi tukevuuden kannalta, mutta siihen sopivan laakerin ulkohalkaisija oli työn tapaukseen hieman liian suuri, jolloin päädyttiin lopulta Ø17mm akselihalkaisijaan. Laakereille kannattaakin varata paljon koneistustilaa, sillä niiden ulkohalkaisijat ovat melko suuria n.40-60mm riippuen akselin halkaisijasta ja paksuudet n.10-20mm. Työssä sijoitetaan yhteen laakeripukkiin kaksi laakeria molemmin puolin. Tästä johtuen

laakeripukkien materiaalin paksuus on pakko valita vähintään n.30mm paksuiseksi, jotta laakeripesät voidaan koneistaa.

Karapylkän vaihtoehtoja näkyy kuvassa 39. Kolme yleisintä ovat 1. kiinteä karapylkkä, tässä mallinnuksessa lisäksi kierrereivät lisävarusteille kuten piikeille, pöydälle ja istukalle, 2. morsekartiollinen karapylkkä ja 3. läpireiällinen karapylkkä istukan kiinnityspeikineen. Työhön valittiin vaihtoehto yksi, koska se vie rakenteellisesti vähiten tilaa ja on helpoiten sekä edullisemmin toteutettavissa ilman erikoistyökalujen käyttöä työstössä.



**Kuva 39. Yleisiä karapylkän muotoja.**

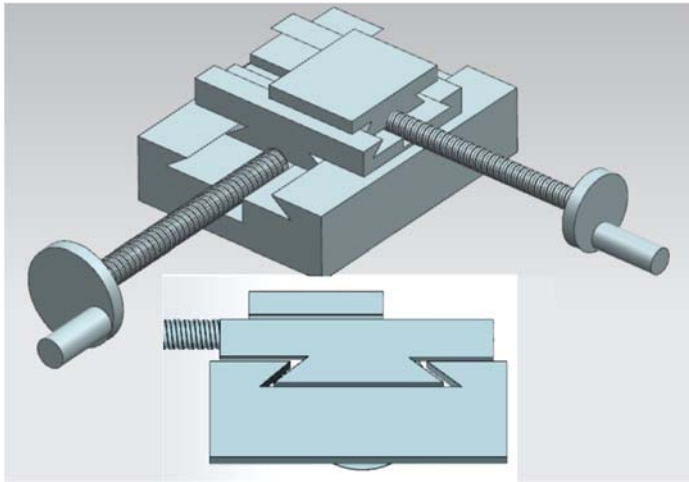
Karapylkän ja siihen asennettavan pöydän luonnostelu aloitettiin edellä mainitusta Ø17mm akselihalkaisijasta ja vetopäähän koneistettavasta 13mm kuusiopäämuodosta, joka kokonaan mahtuu juuri vielä, vaikka tavalliseen poraistukkaan. Keskireiän kehälle asetiin 4kpl kierrereikää, joiden koot olisivat M8-10 ja syvyydet n.20mm.

Tähän lisävarusteena asennettavaksi tarkoitettua pöytää luonnosteltiin maksimi aihion mukaan Ø100mm halkaisijaiseksi ja paksuudeksi käy hyvin n.5mm, kuitenkin koneistusta varten kannattaa ottaa paksuudeksi 10mm, jotta pöytä ei kaareutuisi puristuksen välissä. Vesi- ja laserleikkaamalla pöydän pystyy joustavasti tekemään 5mm paksuiseksi ilman muodonmuutoksia. Pöydän reikien ja aukkojen mitat vaihtelevat käyttäjän mieltymyksen mukaan ja niiden tarkkaa määrittystä ei voida antaa. Toteutus osiossa on esimerkkinä yksi toteutustapa karapylkän pöydän valmistukseen.

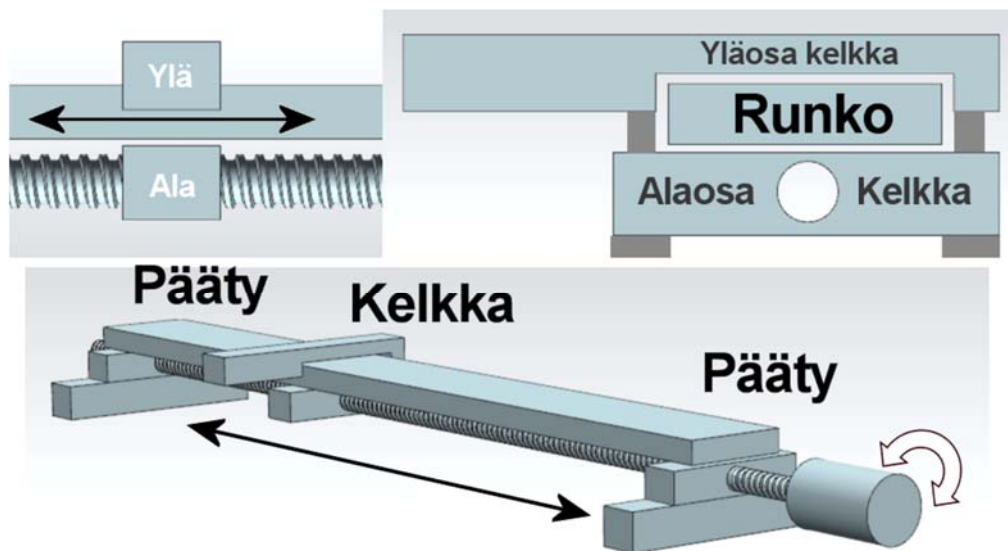


### 3.7 Z- ja X-lineaariliikkeet

Kuten rungon yhteydessä aiemmin lineaariliikkeet toteutetaan erityyppisten johteiden avulla. Jos sorvissa on tilaa paljon, laitetaan siihen kuvan 40 luonnoksen tapainen isohko ristisyöttö ruuvipenkki, mutta pienoissorveissa on tilaa pienen kokonsa takia vähän ja lineaariliikkeitä täytyy soveltaa, jotta toiminnaltaan samanlainen rakenne saataisiin mahdumaan työn sorviin. Ratkaisuksi syntyi johtoruuvien sijoittaminen rungon alapuolelle ja täten kelkkojen jakaminen rungon ylä- ja alapuolelle kuten kuvissa 41 ja 42 näkyy.

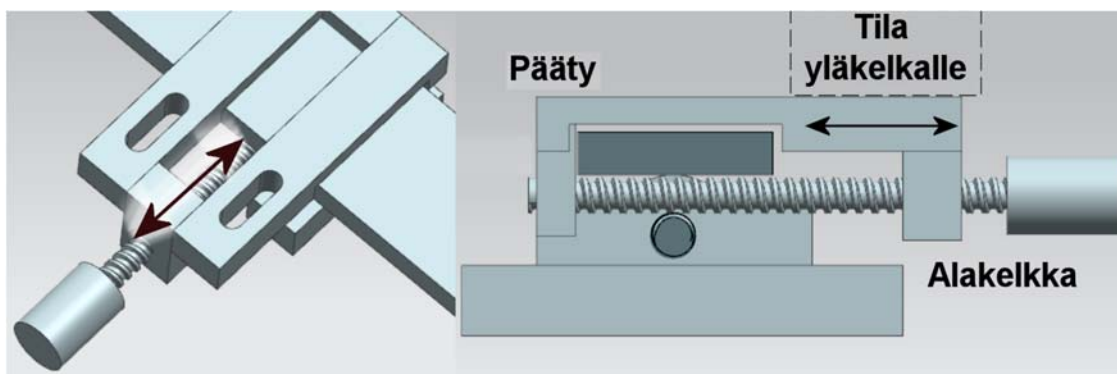


**Kuva 40. Ristisyöttö ruuvipenkki luonnos.**

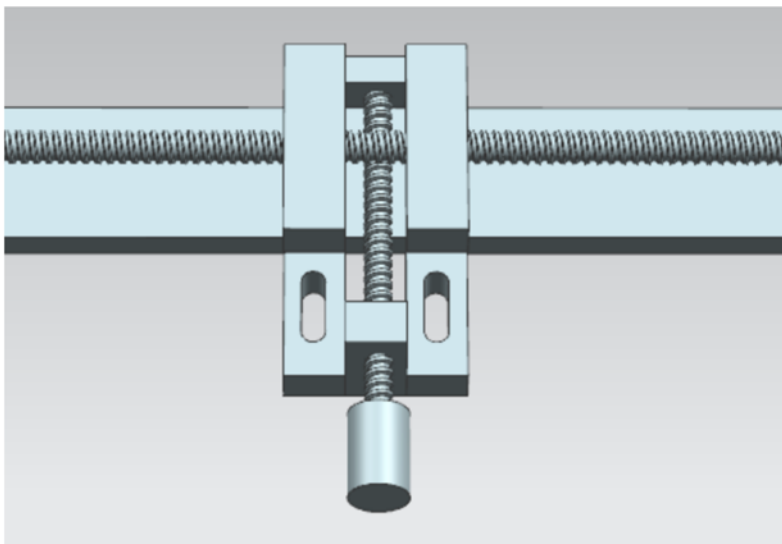


**Kuva 41. Luonnos pituussuuntaisen kelkan jakamisesta ylä- ja alapuolelle runkoa.**

Tämän kelkan jaon avulla saatiin rungon yläpuolelle minimaalinen tilankäyttö, jolloin napojen laakeripukkeja ei tarvinnut korottaa erikseen. Rungon alapuolelle jätettiin tarpeeksi tilaa, jotta pituus- ja poikittaissyötön johtoruuvit mahtuisivat pyörimään. Poikittaissyötön yläkelkka kuvassa 42 liikkuu, sille tehdyissä kahdessa aukossa.



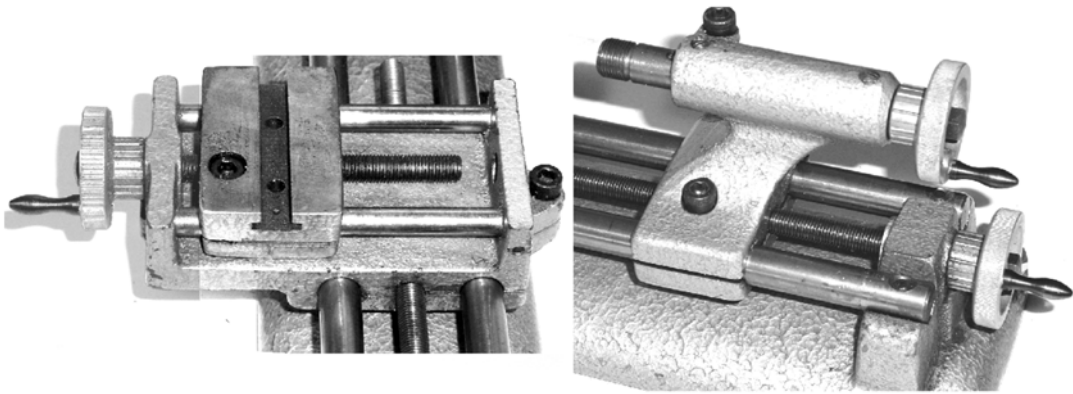
**Kuva 42. Luonnos poikittaissuuntaisen kelkan jakamisesta ylä- ja alapuolelle runkoa.**



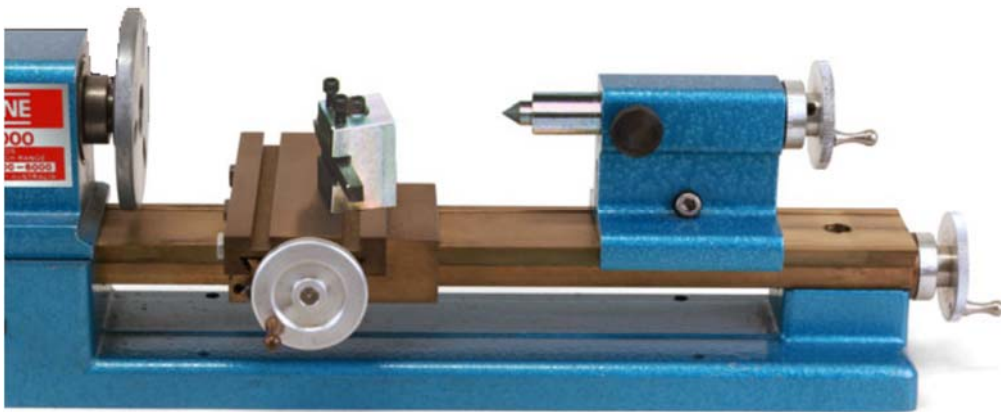
**Kuva 43. Luonnos ristisyötöstä pienoissorvissa. Kuva alapuolelta.**

Kuvaan 43 on koottu rungon alapuolelta tehty mallinne, jossa näkyy ristisyötön liikeruuvit ja niiden tarkempi sijoitus keskelle rakennetta. Rakenteiden vertailukuvia on esillä seuraavissa kuvissa 44, 45 ja 46. Kuvassa 44 johtoruuvi on sijoitettu linjaan pyöröjohteiden kanssa samalle korkeudelle. Kuvassa 45 taas käytetään samankaltaista mekanismia kuin tässä työssä eli yhtä tasojohdetta, jonka alapuolelle on sijoitettu johtoruuvi. Erona siinä on lohenpyrstöjohteiden käyttö. Kuvassa 46 käytetään edistysellisempää, mutta samalla kalliimpaa hammaspyörää ja -tankoa karkeaan pituussuuntaiseen liikkeeseen sekä erillistä lohenpyrstöillä toteutettua ristisyöttö ruuvipenkkiä hienoon poikittaiseen- ja pituussuuntaiseen liikkeeseen. Kuvan 46 liikkeet ovat siis samat kuin ammattimaisissa metallisorveissa ja kaksi aikaisempaa kuvaavat halvempia toteutuksia. Kuvan 44 ja 45 mekanismit sopivat näin tähän työhön paremmin, koska tarkoitus on luoda edullinen sorvi vähäisin kustannuksin.

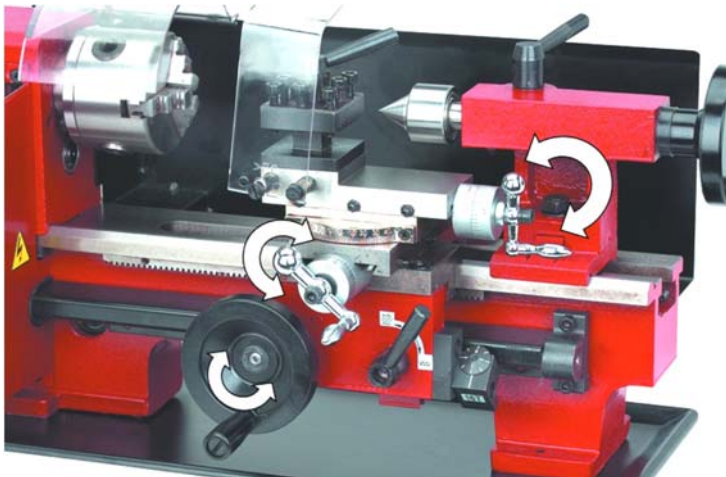




**Kuva 44. Unimat Mk.4 1950-luvun pienoissorvin lineaariliikkeet [34].**



**Kuva 45. Sherline Model 1000 1970-luvun pienoissorvin lineaariliikkeet [39].**

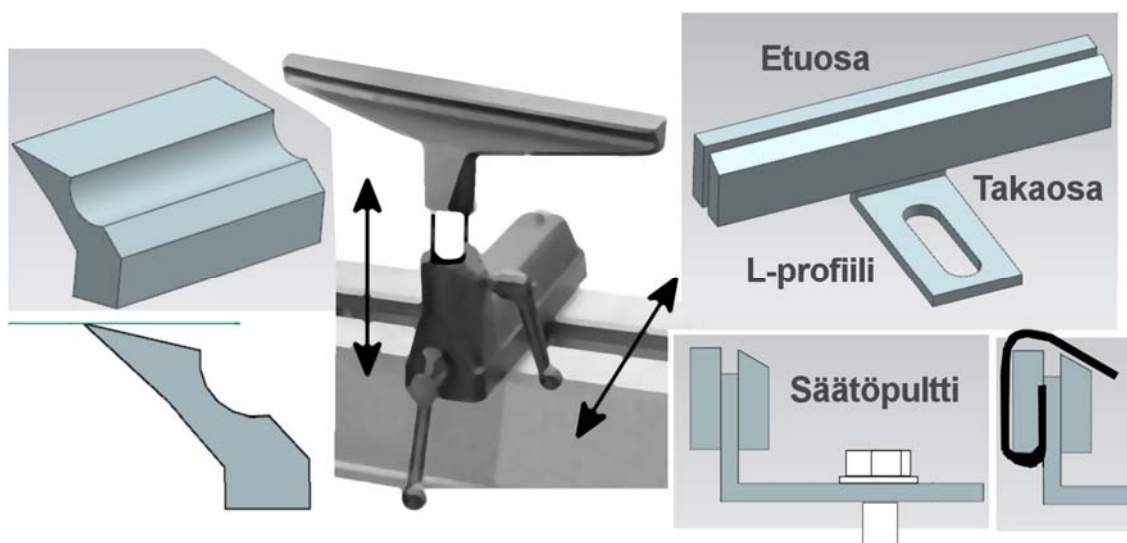


**Kuva 46. Aasialaisvalmisteisen 2000-luvun pienoissorvin lineaariliikkeet [40].**

### **3.8 Taltantuki ja teränpidin**

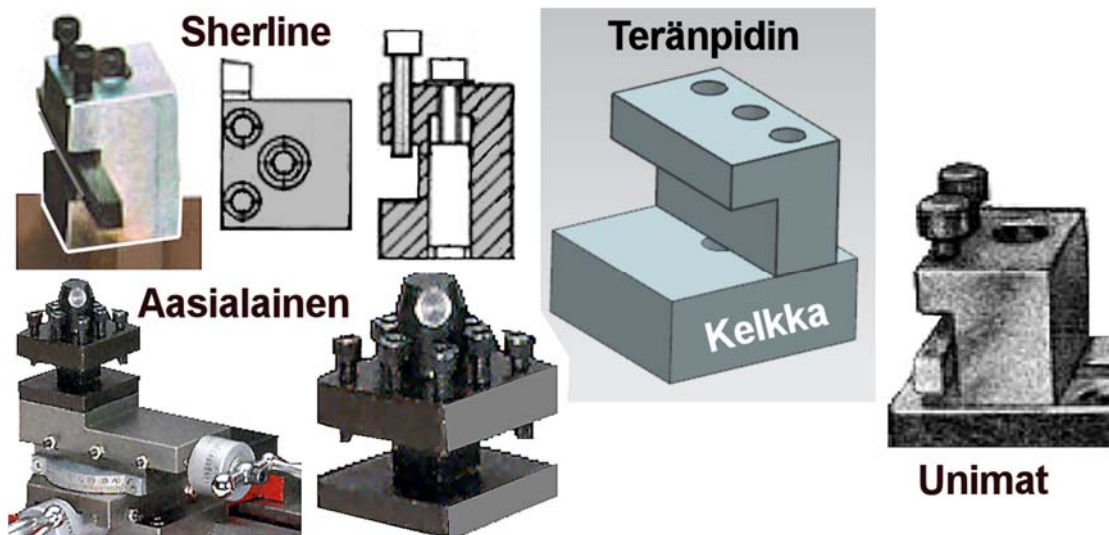
Taltantuen suunnittelussa sen tärkeimmät ominaisuudet ovat korkeuden ja etäisyyden säätö aihioon nähden sekä taltan liukumapinnan pituus. Tässä työssä haluttiin taltantuen

olevan mahdollisimman muutettava. Yleinen taltantuen malli on kuvan 47 keskellä ja sen leikkauskuvanto vasemmalla. Taltantuessa on n.10-20° kulma taltan liukumapinnassa ja sitä hieman alempana on kouru, joka toimii sormitilana. Pienoissorvissa ei korkeudensäätöllä kuitenkaan ole suurta merkitystä, koska aihio on muutenkin hyvin pieni. Tämä auttaa luonnostelussa, sillä nyt ei tarvitse sijoittaa tilaa vievää pystysuuntaisliike mekanismia. Kuvan 47 oikealla on luonnosteltu kolmesta osasta tehty taltantuki, jonka ytimenä toimii liikuteltava L-profiili. Sen molemmin puolin on kiinnitetty irrotettavat lattatangot, joita voi käyttää semmoisenaan tai puristaa niiden väliin erillisen ohutlevyisen tai muovisen liukumaprofiilin. Luonnosteltu taltantuki käyttää tilaa tehokkaasti hyväkseen ja on pitkäikäinen vaihdettavilla liukumapinnoilla. Korkeudensäätö tapahtuu siinä L-profiilin alle laitettavilla aluslevyillä.

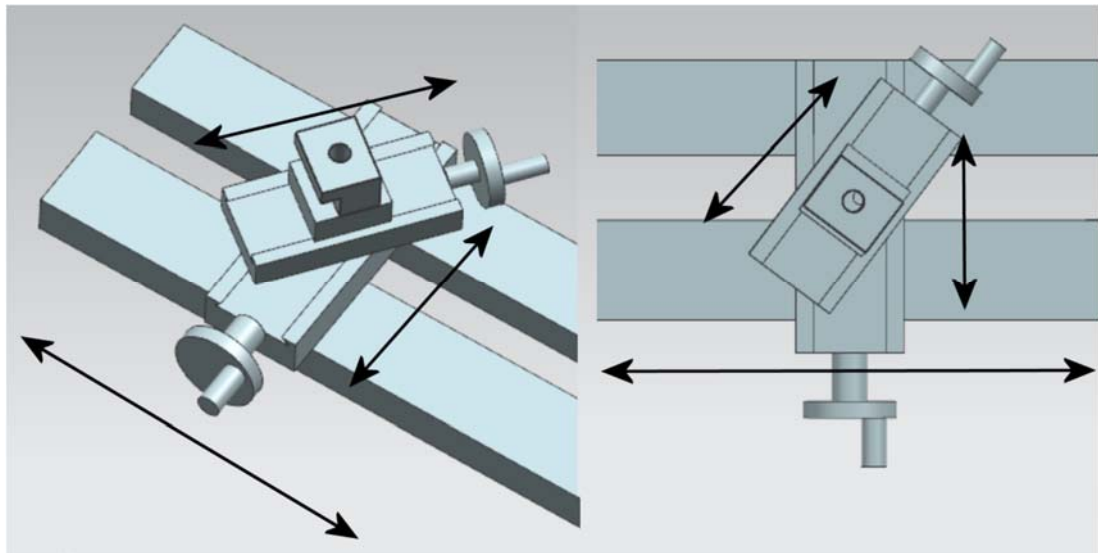


**Kuva 47. Luonnoksia taltantuesta.**

Teränpitimen mekanismi taas on yksinkertainen, siinä vain puristetaan teränvarsi paikalleen kiinni pulteilla. Pienoissorveissa tämä toteutetaan usein kelkan päällä olevalla L:n muotoisella teränpitimellä, jonka aukon profiiliin teränvarsi sopii puristuksiin. Teränpitintä voi lisäksi säätää eri kulmaan ja astepöydällä varustetuilla kalleimmilla pienoissorveilla kulman voi asettaa asteen tarkkuudella. Teränpitimen eri malleja on koostettu kuvaan 48. Niistä erityisesti aasialaisvalmisteisella sorvilla on astepöytä käytössä, muut kiertyvät joko silmämääräisesti tai ei ollenkaan. Työn sorviin valittiin luonnoksien perusteella vankka L-aiho, joka kiinnittyy useammalla pultilla kelkkaan. Astepöytä jätettiin pois, koska tilaa sille ei olisi ollut ja koska työn sorvista puuttuu pituussuuntainen hienosäätö mahdollisuus myöskin tilanpuutteen takia. Näin työn sorvissa terän kulmansäädön tarve on vähäistä ilman pituussuuntaista hienosäätöä, joka esiintyy aasialaisvalmisteisissa pienoissorvissa. Astepöydän toiminta-ajatus näkyy kuvasta 49, josta näkyy myös sen tarvitsema suuri tilantarve. Astepöytää käytetään kartionmuotoisten kappaleiden tekemiseen, joten sen todellinen tarve suhteessa sen viemään tilaan ja rakenteen monimutkaisuuteen havaittiin työssä painottuvan lopulta sen pois jättämiseen.



Kuva 48. Teränpitimiä perustuvat lähteisiin [34,39,40].



Kuva 49. Luonnos astepöydän mahdollistamasta liikeradasta sorvilla.

## 4. TOTEUTUS

Toteutuksessa esitetään valmistettu pienoissorvi ja käydään läpi siihen valittuja ominaisuuksia ja esitetään mittapiirustukset, jotta kyseisen pienoissorvin voi koneistaa itsenäisesti.

### 4.1 Perustana runko

Runkona toimii kuvan 50 hienolaatuinen S355 lattatanko kooltaan 80x20x900mm. Mittatoleransseiltaan sen poikkeavuudet eivät ylittäneet  $\pm 0.1$ mm luokkaa samansuuntaisuudelle, suoruudelle, kohtisuoruudelle ja tasomaisuudelle. Lattatankojen toleranssit ovat erittäin hyvälaatuisia nykyään terästehtaalta tullessaan, joten sen jatkojalostamiseen ei ollut tarvetta. Paksuutena 20mm oli sopivan tukeva, ettei runko päässyt kaareutumaan tai taipumaan käytössä. Tätä voidaan pitää minimi paksuutena, sillä sen alle esim. 10mm paksuisena runko olisi ollut altis muodonmuutoksille pituutensa takia. Vakiokokoisena ja muokkaamattomana lattatangon voi vaihtaa vähäisin vaivoin halvalla mieluiseksi, kunhan ainut lukittu mitta eli 80mm leveys vain toteutuu esim. pidemmäksi 2000mm ja paksuudeksi 30mm ilman erikoiskoneistuksia kuten lohenpyrstömuotoja.



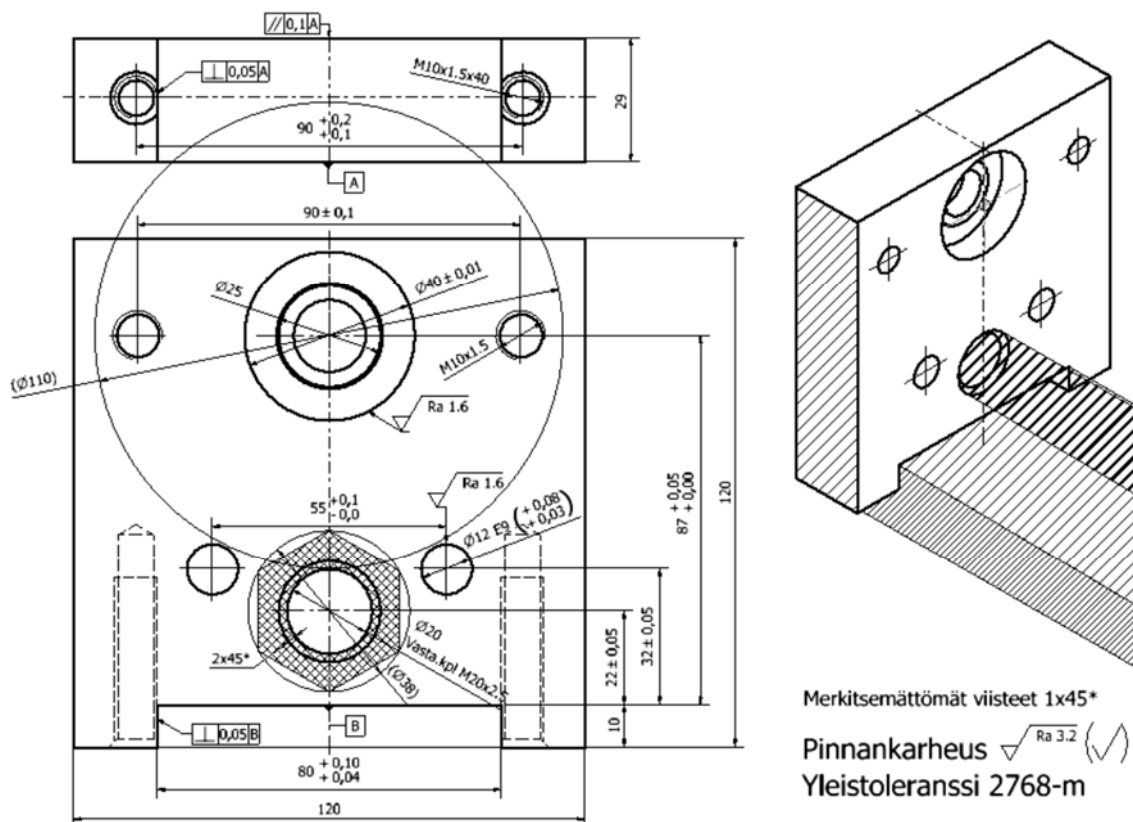
**Kuva 50. Sorvin runko 900mm pitkä.**

### 4.2 Karapylkkä ja moottoripuolen laakeripukki

Laakeripukkia suunniteltaessa oli tarkoituksena tehdä siihen aihiota varten n. Ø100mm halkaisijan etäisyys karapylkän keskeltä runkoon nähden, jotta aiottu maksimi aihio mahtuisi pyörimään siinä. Tästä päädyttiin kokoon 120x30x120mm. Paksuutena 30mm mahdollistaisi vielä hyvin mm. karan linjauksen. Kuvassa 51 on esitelty valmis modulaarinen laakeripukki kokoonpano, jonka voi liittää runkoon helposti. Valmistetut osat noudattavat ISO 2768-m keskikarkeaa yleistoleranssin mittatarkkuutta, joka on määritelty standardissa SFS-EN 22768-1 ja pinnankarheus on yleensä Ra3.2 ellei sitä ole tarkemmin merkitty [41].



takellon käyttö on pakollista toteutettaessa työkappaletta sen vaatimilla geometrisilla toleransseilla. Kuvassa 53 näkyy referenssinä piirrettynä Ø110mm halkaisijainen ympyrä, josta voidaan hyväksyttävästi todeta Ø100mm aihion mahtuminen pyörimään. Laakeripesä koneistettiin Ø39,99-40,00mm, jolloin Ø40,00mm laakerin ulkohalkaisija mahtuisi ilman tiukkaa sovitusta.



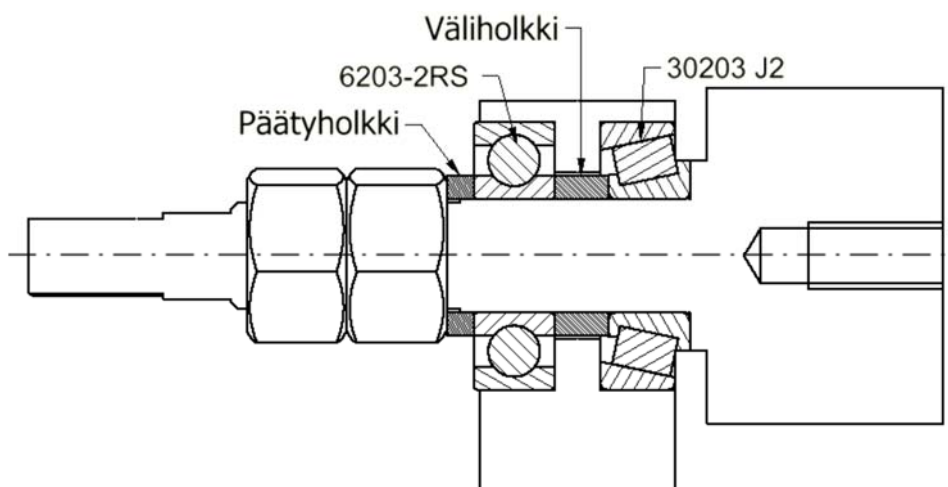
**Kuva 53. Laakeripukin muoto.**

### 4.2.1 Karapylkän liike ja laakerit

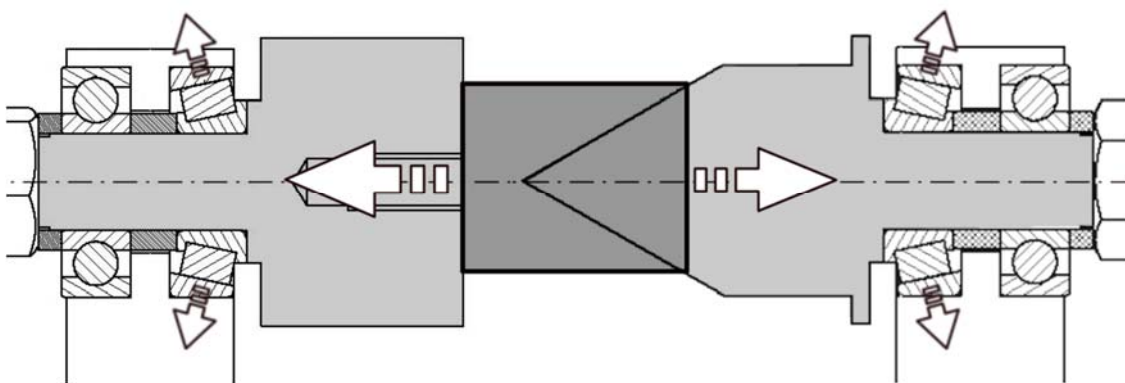
Karapylkän ja myös sen vastakappaleen kärkipylkän kitkaton pyöriminen taataan kuvassa 54 näkyvällä laakeri kokoonpanolla, joka koostuu kartiorullalaakerista, väliholkista, kuulalaakerista ja päätyholkista. Osiossa 4.2.3 esitämme holkkien toimintaperiaatteen tarkemmin. Kuvassa 55 näkyvät voimien jakautumiset kyseisille laakereille työstön aikana. Aihion puristuessa napojen väliin aiheuttavat ne vastaavasti työntävän voiman laakereille, jolloin sorvin sisäpuolelle tarvitaan kartiorullalaakerit hajottamaan vinosti voiman aiheuttamat haittavaikutukset. Niiden aksiaalikuorman kesto on parempi kuin kuulalaakereilla, joiden säteiskuormitus taas on parempi. Jos tilalla olisi vain perinteinen kuulalaakeri se poistaisi laakerivälykset ja painaisi kuulat pois luontaiselta radaltaan kuulauran äärisiin, jolloin kitka kasvaisi voitelevan rasvan siirtyessä pois paineenalaisena kuulien ja seinämän välistä. Tämä synnyttäisi laakereihin epäsuhtaista kulumista ja ennenaikaista rikkoontumista. Laakereiden kuormitussuunnat ovat täten otettu huomioon sorvissa.



Suuntauksen ja kuormituksen parantamiseksi on laakereita 2 kpl laakeripukissa, sillä yksin ne olisivat vain n.12-13mm paksuja. Nyt laakeripukin sisälle menevän akselin mitan pituus on 31mm, joka tukee hyvin napoja.



**Kuva 54. Laakereiden asennus laakeripukkiin.**



**Kuva 55. Puristusvoimien jakautuminen laakereille.**

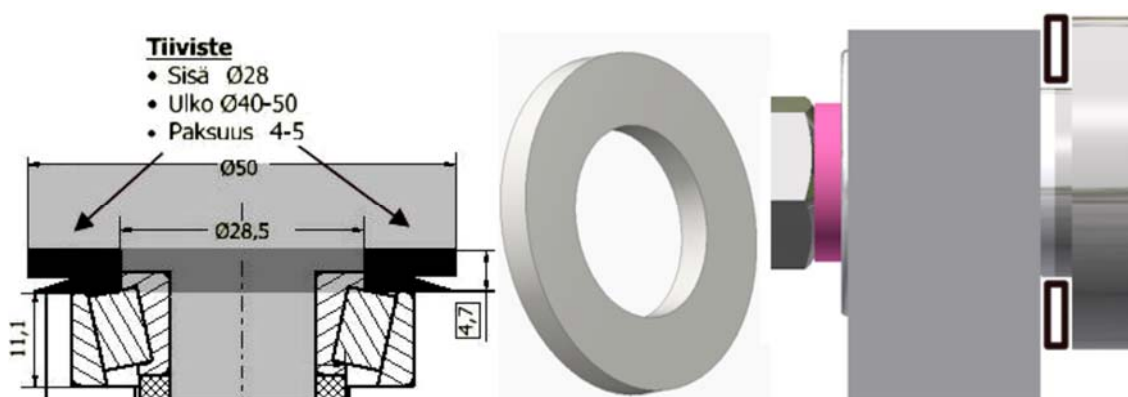
Kartiorullalaakeri on 30203 mallin laakeri, jonka sisähalkaisija on Ø17,00mm, ulkohalkaisija Ø40,00mm ja paksuus 13,20mm. Standardoiduille yleiskokoisille laakerille löytyy useita valmistajia, tässä valittiin japanissa valmistettu SKF 30203 J2 (ruots. svenska kullagerfabriken). Maksimi suositeltu pyörintänopeus laakerille on 18000r/min, joka ylittää reilusti sorvin maksimi nopeuden 3000r/min. Aksiaalikuormaa se kestää n.2x enemmän kuin kuulalaakeri, mutta vähemmän säteiskuormitusta. Kartiorullalaakerissa on avoin purettava rakenne ja se tarvitsee rinnalle toisen laakerin parikseen kumoamaan säteisvoimaa. Koska se ei ole itseasettuva sen aksiaalivälyksen asettamiseen ja säätämiseen käytetään aiemmin mainittuja holkkeja. [24,42].

Kuulalaakeri on tässä japanilais-ranskalaisen NTN:n (japaniksi niwa, tomoe, nishizono) valmistama 6203 mallin laakeri, jonka sisähalkaisija on Ø17,00mm, ulkohalkaisija Ø40,00mm ja paksuus 12,00mm. Tässä valittu 2RS malli on molemmin puolin suojattu

eli siinä ovat muoviset suojuslevyt kuulien suojana, joka tekee siitä huoltovapaan. Pyörimisnopeutta se kestää yhtä paljon kuin kartiorullalaakeri, mutta kuormituksen kestot ovat päinvastaisesti säteissuunnassa paremmat kuin aksiaalisuunnassa [43].

### 4.2.2 Tiivistäminen

Avointen laakereiden kuten tässä kartiorullalaakerin tiivistämistä varten on valmistettu kumista tehtyjä V-tiivisteitä. Niiden kokoja on olemassa kuitenkin hyvin rajattu valikoima ja tässä työssä kumitiiviste korvattiinkin koneistetulla polyeteeni PE 1000 muovirenkaalla. Tarvittu koko olisi ollut kuvassa 56 näkyvien mittojen mukainen. Tiivisteiden tarkoitus on liukua teräspintojen välillä pitäen laakerien sisällä oleva rasva puhtaana ja paikoillaan, jotta se ei pääsisi karkaamaan karan pyöriessä.

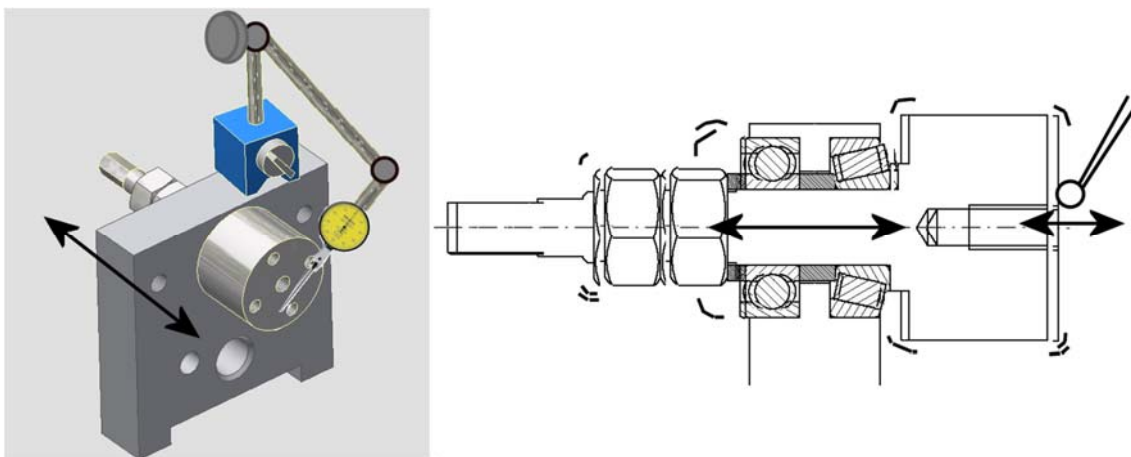


Kuva 56. Kartiorullalaakerin V-tiiviste.

### 4.2.3 Välyksen tarkistaminen asentamisessa

Kartiorullalaakerin aksiaalivälyksen säätämistä varten laakeripukissa on kuvassa 54 oleva väliholkki. Se sijoitetaan laakereiden keskelle. Kooltaan sen sisähalkaisija on Ø17,05mm ja ulkohalkaisija Ø24,00mm. Väliholkin paksuus hiotaan tasohiomakoneella oikean kokoiseksi. Kun laakereiden välys on n. alle 0,05mm on väliholkin mitta kunnossa. Välyksen tarkistus tehdään mittakellolla, joka on kiinnitetty magneettipohjaan. Kuvassa 57 on esitetty mittaustapahtuma. Väliholkin alkupaksuuden pystyy 3D-suunnittelun avulla laskemaan lähelle ja hienosäätö tapahtuu hiomalla sitä pienemmäksi. Jos väliholkkia ei tässä tapauksessa ole tai se työstetään liian pieneksi, on karan pyörintä nihkeää ja kitka suuri. Tämän ei sulavan liikkeen takia oikean välyksen löytäminen on tärkeää kartiorullalaakerille, jotta se ei rikkoutuisi ennenaikaisesti virheellisen asennuksen takia. Asennuksessa M16 ruuvit muodostavat parina lukkorakenteen, jonka pitämistä voi parantaa kierrelukite liimalla, sillä pitkäaikaisella sorvin käytöllä ne voivat muuten tärinästä auki. Kartiorullalaakerin rasvaus tehdään lopullisen väliholkin mitan löytämisen jälkeen. Laakerirasva on litiumsaippuapohjainen.





**Kuva 57. Kartiorullalaakerin ja kuulalaakerin aksiaalivälyksen säätö.**

#### 4.2.4 Vaihtoehdot aihion kiinnittämiseen

Työn sorvissa karapylkkään on tehty kierrereiät 1 kpl M10 keskelle ja 4kpl M8 kehälle. Keskikierrereiään on tarkoitus laittaa keskiökärki ja kehällä oleviin, joko piikit tai asetusruuvit, jotka kiinnittävät lisävarusteena laitettavan pöydän. Tavallisin ja helpoin tapa kiinnittää puinen tai muovinen aihio sorviin on kiinteillä piikeillä, ruuveilla tai terillä varustettu kara, johon pehmeä aihio isketään kiinni niin, että tunkeutuvat terävät muodot pitävät aihion paikallaan sen pyöriessä.

Tässä pienoissorviin valmistettiin kuvassa 58 näkyvät vaihdettavat osat, jotka ovat tehty mahdollistamaan monipuoliset kiinnitysratkaisut. Ensimmäinen on yksinkertainen nelisakaraista vääntiötä muistuttava yhdistelmä, jossa kulutusosina toimivat piikit ovat vaihdettavia pitkän käyttöiän takia. Toinen on isommille aihioille tarkoitettu lisävoimaa antava levennetty pöydällinen vääntiö. Kolmas on neljäleukaista istukkaa muistuttava yhdistelmä, jossa pöytään on kiinnitetty 4kpl kulmarautaa antamaan lisäulottumaa metalliaihioiden ja putkien kiinnittämiseen.

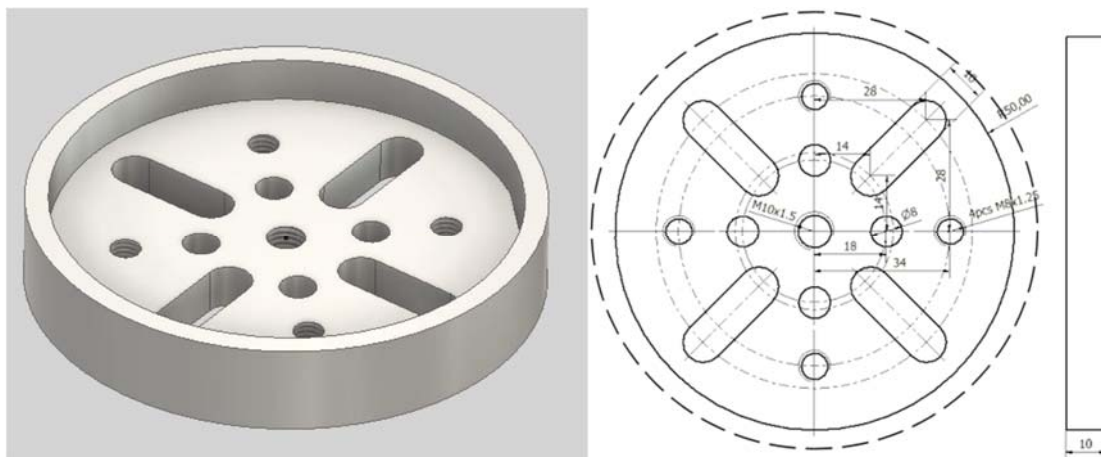


**Kuva 58. Karapylkkään asennettavat aihion pitimet.**

Karaan asennettava pöytä halkaisijaltaan Ø100mm ja paksuudeltaan 10mm on esitetty kuvassa 43, se kiinnitetään 1kpl M10 keskiruuvien avulla ja muut karan 4kpl M8 ruuvia

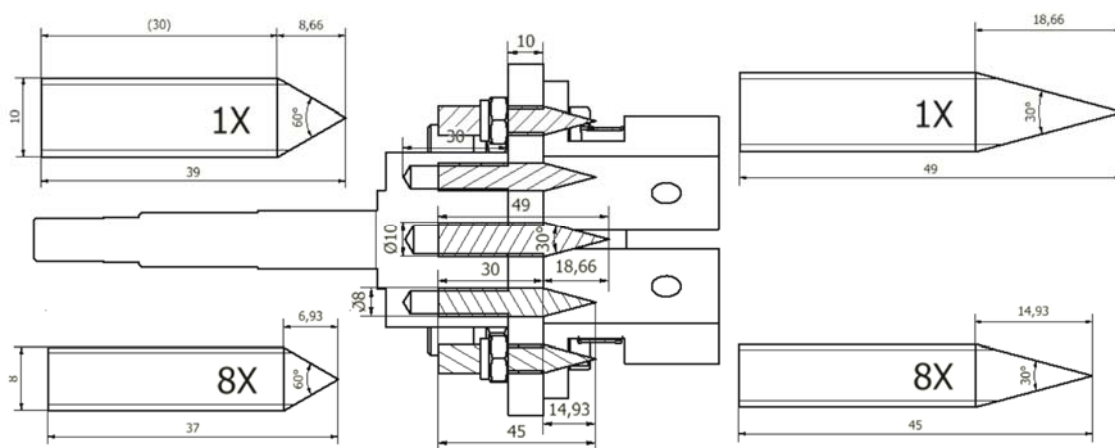


Letkunkiristin auttaa hyvin yksittäisen löystyneen kulmaraudan tukemiseen. Onkin suositeltavaa käyttää jompaakumpaa keinoa, välttääkseen löystyneen kulmaraudan vaarallinen heilahtelu esim. runkoon. Lukkomuttereiden DIN 985 käyttö ja kuluneiden pulttien säännöllinen vaihtaminen uusiin tuo turvaa sorvin käyttäjälle.



**Kuva 61. Turvapöytä kulmarautojen estoreunuksella.**

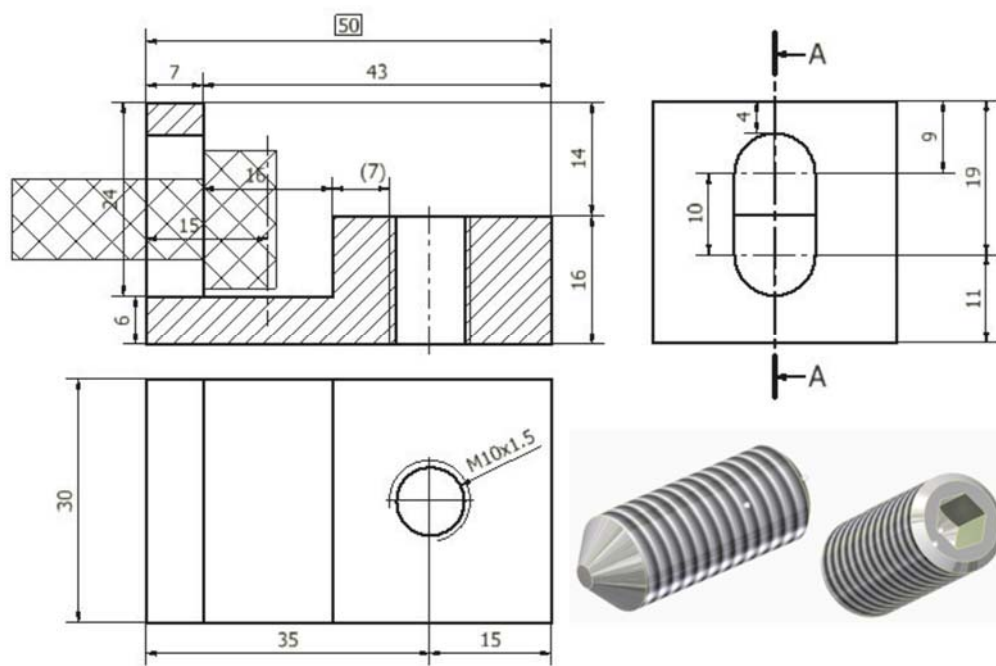
Piikkien muotoja valmistettiin kokeellisesti useista eri asteisista kärjistä. Terävällä 30° kulmalla havaittiin olevan paras tartunta. Myös 60° piikkejä tehtiin kestävämpänä rinnalle koville materiaaleille. Nämä kaksi kulmaa valittiin ja ne ovat esillä kuvassa 62. Huomaa karan ulkopuolella olevien M8 piikkien kiinnittäminen pöytää vasten DIN 985 lukkomuttereilla.



**Kuva 62. Piikkikärkien kiinnitys karaan ja pöytään.**

Pöydän leuat vievät tilaa aihiolta, joka on maksimissaan Ø100mm piikki- tai terävääntiöillä, mutta leuallisilla kiinnityksillä näin isoa aihiota ei voi käyttää. Leukoja on tarkoitus käyttää siten, että pienillä kappaleilla alle Ø30mm käytetään niiden tasaista puolta aihiota vasten ja suuremmilla Ø30-50mm kappaleilla käännetään leuat toisin päin niin, että porrastus on aihioon päin. Leukoja suunniteltaessa on niiden säädettävyyttä paranneltu pultin

aukolla, jossa on 10mm liikkumavara. Kuvassa 63 on näytillä leuan rakenne. Lisäpitoa tuo leukaan kuusiokoloavaimella kiinnitettävä DIN 914 kartiopiste pidätinruuvi, jonka pituus vaihtelee 15-20mm välillä riippuen aihion läpäisevyydestä.



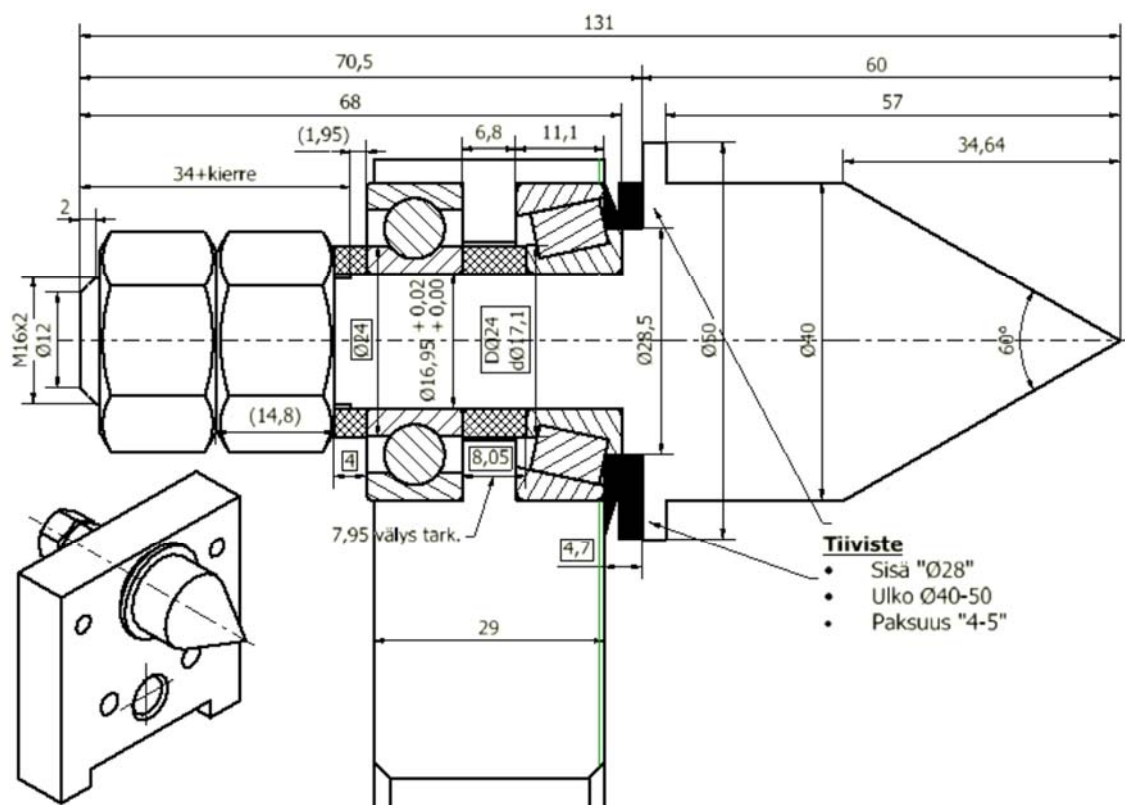
**Kuva 63. Pöytään kiinnitettävä leuka.**

### 4.3 Kärkipylkkä ja kärkipuolen laakeripukki

Kärkipylkän laakeripukki on rakenteeltaan melkein sama kuin moottoripuolen. Ainoana erona on M20 liikekierteen esiintyminen, kun kärkipylkällä sen tilalla on reikä, joka on isompi kuin kierteen Ø20mm ulkohalkaisija. Osiossa 4.5 on esillä sen toiminta. Tässä keskitymme keskiökärjen muotoiluun.

#### 4.3.1 Keskiökärjen muoto

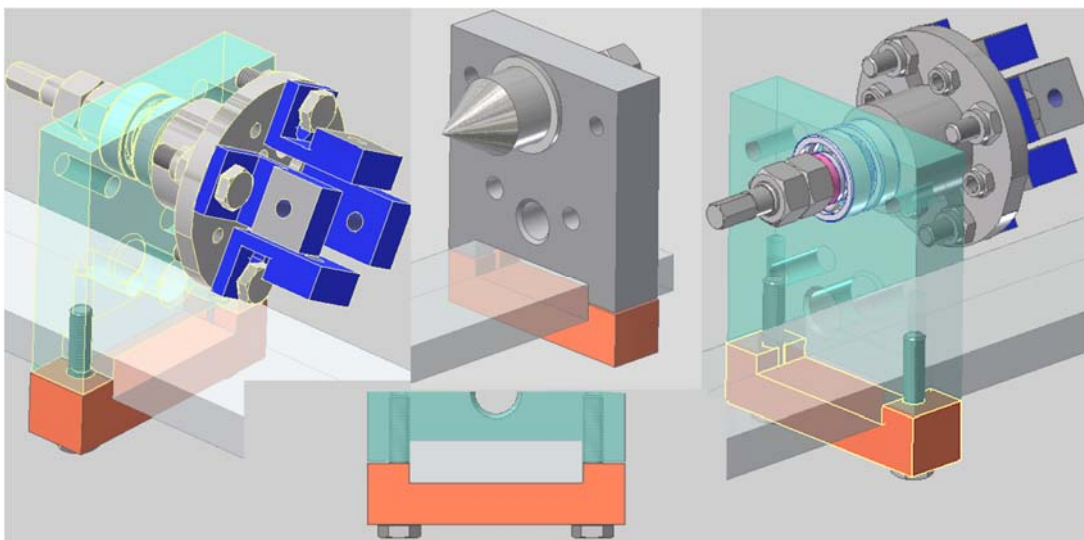
Keskiökärjen muoto koostuu alun 60° kulmasta ja lopun lastunsuojasta, joka on akselia ja tiivistettä suojaava sekä pitkän lastun poistoa helpottava korotettu porras. Työhön valittiin kuvan 64 mukainen keskiökärki, jonka halkaisija on Ø40mm ja lastunsuojan halkaisija Ø50mm. Tärkeintä on tässä luoda riittävä etäisyys tasaisen lastunsuojan ja aihion välille, jotta terä ei ota kiinni lastunsuojaan. Tässä etäisyys on aihio kiinnitettynä n.40-50mm.



Kuva 64. Keskiöäksen asennus laakeripukkiin.

#### 4.4 Laakeripukkien asennus runkoon

Kiinnitykseen käytetään täyskierteitettyjä DIN 933 M10 kuusiopää pultteja. Osakier-teitettyjä merkitään DIN 931 ei käytetä, sillä niissä kierteyttämätön osa oli n.0,1-0,2mm isompi ja vaikeutti näin tarkkaa asennusta, kun varsi ei ollut tasapaksu. Esim. niissä kier-teen koko on n. Ø9,8mm ja kierteyttämätön osa n. Ø9,9mm. Laakeripukki asennetaan kuvassa 65 näkyvällä uritetulla 30x29x120mm vastakappaleella runkoon 2kpl M10x60 pultilla. Kuvassa 83 on eritelty tarkempi kuva vastinkappaleesta. Moottoripuoli täysin kiinni ja kärkipuoli niin, että väliin jää n. 0,1mm vällys mahdollistaen sen liikkumisen. Vastakappaleen hieman n.+0,05mm rungon 80mm leveyttä suurempi ura on n.9,5mm syvä ja pinnankarheudeltaan Ra3.2. Koneistetut urat molemmiin puolin myötäilevät run-koa ja auttavat kohdistamisessa. Jos koneistus on onnistunut pukit linjautuvat runkoon oikein samansuuntaisesti ja kohtisuorasti. Pulttien kanssa kannattaa käyttää löystymistä estäviä lukitusaluslevyjä kuten Nord-lock, jotka kiilamaisella hammastuksellaan estävät tahattoman löystymisen värinän takia.



**Kuva 65. Kiinnityskappale laakeripukille.**

## 4.5 Z-liikerata ja kärkipylkän liike

Nyt kun navat ovat saatu kiinnitettyä ja aihio voi pyöriä jo niiden välissä. Voidaan keskittää kärkipylkän ja teräkelkan pituussuuntaiseen liikkeeseen. Tämä mahdollistetaan johtimilla, tasoilla ja kierteillä, joita esittelemme seuraavassa.

### 4.5.1 Johdintankojen sijoitus

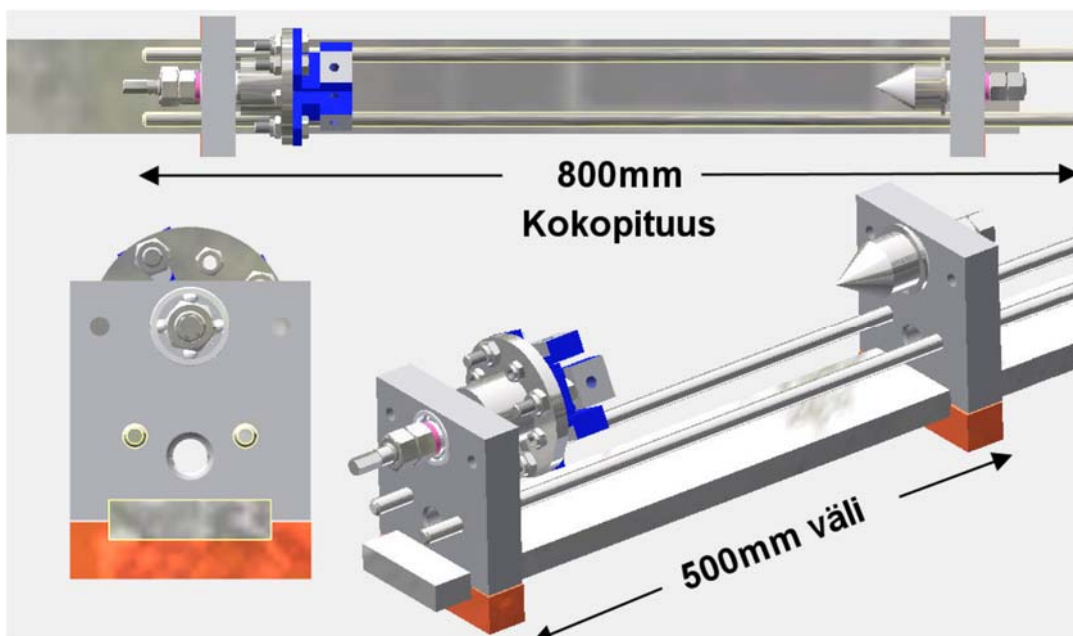
Johtimina käytettävät pyöreät ja kiiltävät tarkkuushiotut tangot ovat valmistettu 115CrV3 korkeahiilisestä kromi-vanadiini työkaluteräksestä. Joten tangot murtolujuudeltaan n.700N/mm<sup>2</sup> ovat kovia, jäykkiä ja kestävät kulutusta. Halkaisijaksi valittiin edullinen Ø12mm tanko, jonka huomattiin kuitenkin olevan ehkä hieman liian taipuvainen, kun pituutta paloille kertyi 800mm. Soveliaampi koko olisi ollut Ø15-20mm, mutta sorvin laakeripukin 120x120mm koko rajoitti isomman kuin Ø12mm tangon valintaa ja myös tangon hinta olisi ollut kalliimpi. Samaa terästä käytetään mm. puukkojen ja talttojen valmistamiseen [44].

Johtimet 2kpl laitetaan laakeripukkien väliin sileisiin kalvaimella tehtyihin Ø12mm E9-toleranssin reikiin eli reiän koko on välillä Ø12,03-12,08mm kun taas johtimen koko on Ø12,00mm. Näin pienellä välyksellä johdinten liukuminen on optimaalista. Pinnankarheus kalvaimella tehtyihin reikiin on n. Ra1,6 ja reiät ovat ympyrämuotoiseltaan sekä suoruuudeltaan hyvänlaatuisia. Reiät tehdään 3 vaiheessa poraamalla, avartamalla ja lopulta kalvaimalla niin, että lastuttavuus vähenee portaittain joka työkalulla lopussa ollen vain 0,2-0,6mm. Isompia reikiä kuten lähtien n. Ø30mm aarporataan. Tätä pienempiin reikiin aarporalla tulee tärinä ongelmia, sillä terä olisi tällöin pieni suhteessa ohueen ja pitkään varteen. Täten kovin pienet ison ulottuman aarporan terät ovat erikoistyökaluja,



joita voi olla hankala löytää. Vastaavasti esim. yli Ø30mm porat, avartimet ja kalvaimet alkavat tulla ison kokonsa vuoksi kalliiksi ja harvinaisiksi [4].

Kuvassa 66 on näytetty 900mm rungon toimiminen tasajohteena ja kahden 800mm pyörötankojohteen sijoittaminen laakeripukkien läpi meneviin reikiin. Nyt kärkipylkän laakeripukkia voi vapaasti ja melko kitkattomasti liu'uttaa pitkin rakennettua kiskostoa.



**Kuva 66. Johdintankojen Ø12x800mm sijoitus.**

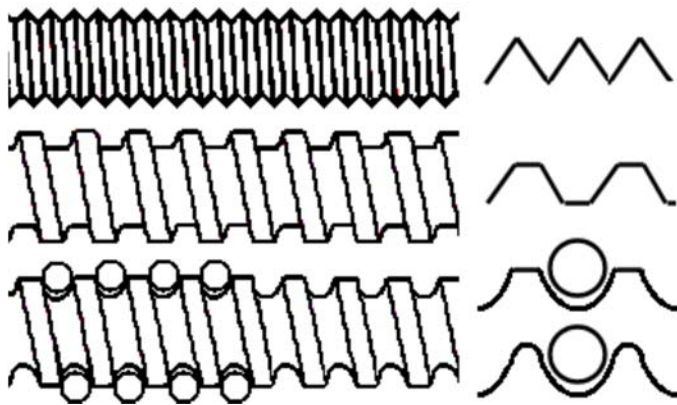
#### 4.5.2 Polymeerilaakerit

Hitaasti pituussuunnassa liikkuviin pyöröjohteisiin voi sijoittaa lisäksi helposti vaihdettavat ja halvat muovista tehdyt laakerit, jotka antavat lisäkäyttöikää koneelle. Esimerkkeinä niistä ovat Saksassa ja Amerikassa valmistetut Igus Iglidur G, J, X, W300 ja M250 muovilaakerit. Muovilaakerit tarjoavat korroosionkestoa, itsevoitelevuutta ja pienen kitkan. Edulliset perusmuovilaakerit sopivat parhaiten hitaasti liikkuviin, kevyisiin ja alhaisen lämpötilan sovelluksiin, joita työn lineaarikiskot juuri ovat. Työssä Z-liikejohteisiin asetettiin 1mm seinämäpaksuisia laakereita, jolloin Ø12mm reikä suurennettiin Ø14mm reiäksi ja laakeri painettiin sisään. Laakereiden laittoa helpotti kaulukselliset mallit, jolloin laakeri meni suoraan kohdalleen [45].

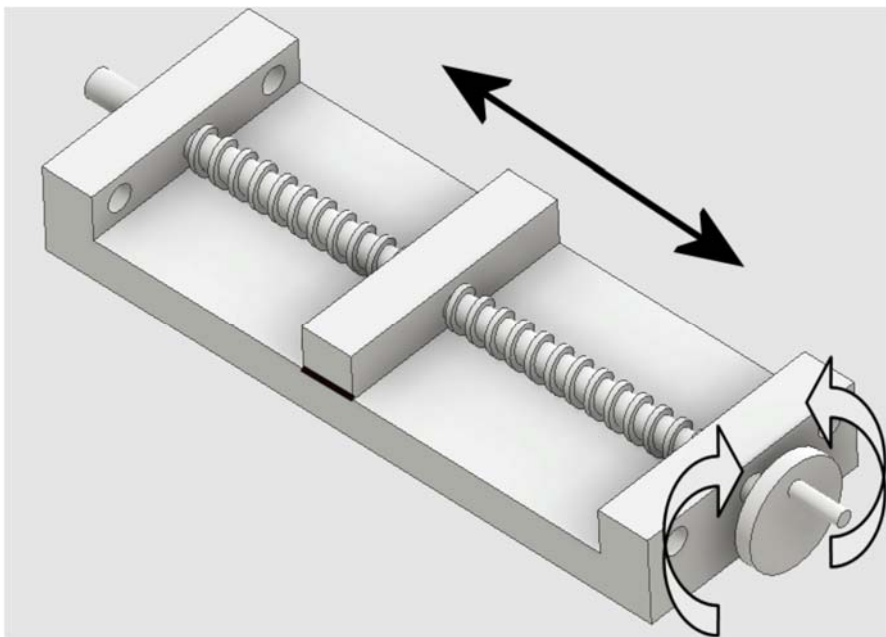
#### 4.5.3 Kierre- ja trapetsitangot

Työssä käytetään edullisimpia ja helpoimmin saatavilla olevia karkeita metrisiä 8.8 laatuista sinkkipäällysteisiä liikeruuveja. Teräkelkan siirtoon Z-suunnassa käytetään yhtä M16x2 1000mm pitkää kierretankoa ja kärkipylkän laakeripukin siirtoa varten yhtä M20x2,5 1000mm pitkää kierretankoa. Syitä tavallisten kierretankojen valitsemiseen oli

trapetsitappiterien puuttuminen, joita olisi tarvinnut erikseen tilata esim. kokoina Tr16x4 ja Tr20x6. Trapetsitankoja on pinnoittamattomina saatavana helposti ja hintakaan ei ole kuin n.3x verrattuna kierretankoon, joten ne olisivat olleet hyvä valinta, jos teriä olisi ollut vain käytössä. Trapetsitankojen nousu on siis n.2x isompi ja näin niihin liitetyt osat liikkuvat vähintään puolta nopeampaa, joka johtaa vähäisempään käsikahvojen pyörittämiseen. Kolmatta vaihtoehtoa eli astetta kehittyneempää, kitkattomampaa ja huomattavasti kalliimpaa kuularuuvitankoa ei tässä työssä pystytty kustannussyistä toteuttamaan. Huomiona kuularuuvia ei pysty käyttämään puristavissa liikeruuveissa kuten kärkipylkässä. Kuvassa 67 on esitetty kaikki 3 liikeruuvityyppiä ja kuvassa 68 tyypillinen liikeruuvikokoonpano käsipyörällä varustettuna. Huomaa, että voima tulee aina tangon päästä ja liikkuva kelkka keskellä on ainut osa joka sisältää kierrereiän. Päiden kierrepukeissa on läpireiät ja tanko pyörii niissä pituussuunnassa lukittuna esim. molemminpuolisilla tuplamuttereilla tai lukkorenkailla.



**Kuva 67. Liikeruuvien profiileja.**



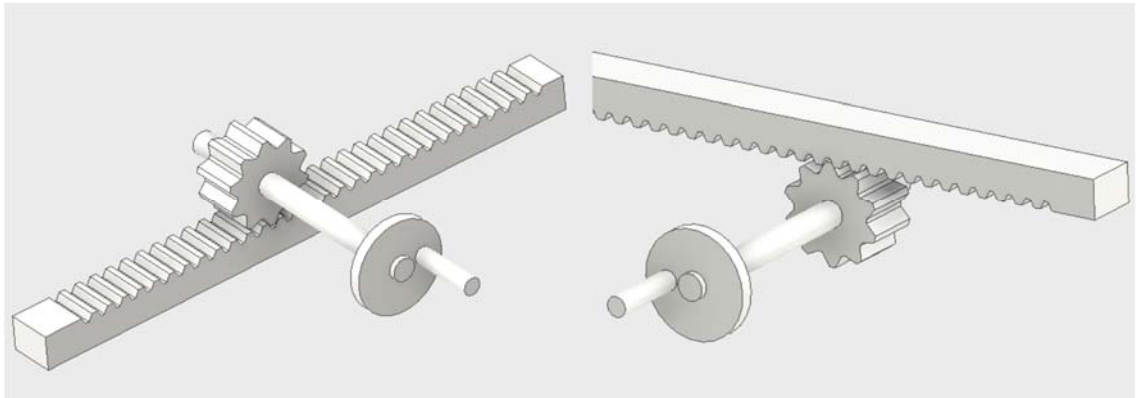
**Kuva 68. Liikeruuvikokoonpanon toiminta kelkalla.**



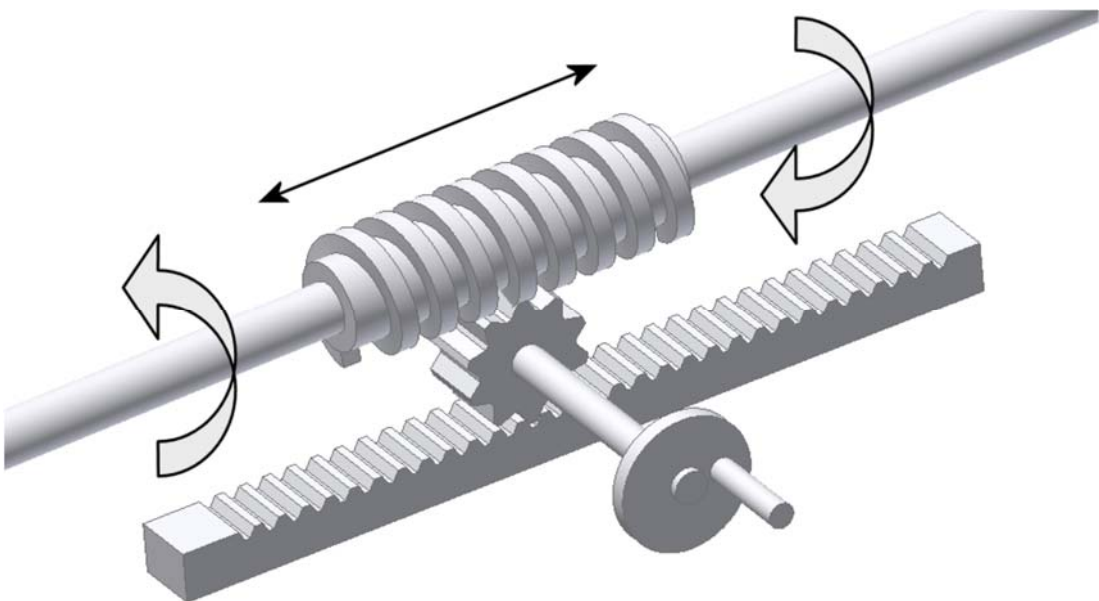
#### 4.5.4 Hammaspyörä ja -tanko

Metallisorvien käsikahvan tuottama kuvan 69 mukainen Z-liike teräkelkalle on toteutettu yleensä aina hammastangolla. Ongelma kierretangoilla on se, että niiden kiertovoima tulee tangon päästä, jolloin käsikahva pitää olla aina sijoitettuna jompaankumpaan tangon päätä. Hammastangon tarvitsema hammaspyörä liikkuu hammastuksen mukana ja näin sen ympärille voi rakentaa teräkelkan käsikahvoineen. Hyvin asetetulla yhdistelmällä saa erittäin pehmeän ja sujuvan liikkeen aikaiseksi. Karkaistut ja tarkat hammastangot ovat kuitenkin kalliita vähintään n.6x hinta verrattuna kierretankoon, jolloin ne eivät hintansa puolesta sopineet työn kustannustehokkaaseen tarkoitukseen.

Metallisorveissa on konesyöttö toteutettu kuvan 70 mukaisella, tässä yksinkertaistetulla kokoonpanolla, jossa moottoroidussa vetokarassa oleva matopyörä, jonka profiilina on trapetsitanko liikuttaa käsisyötön hammaspyörää ja siten saa teräkelkan liikkeen aikaiseksi.



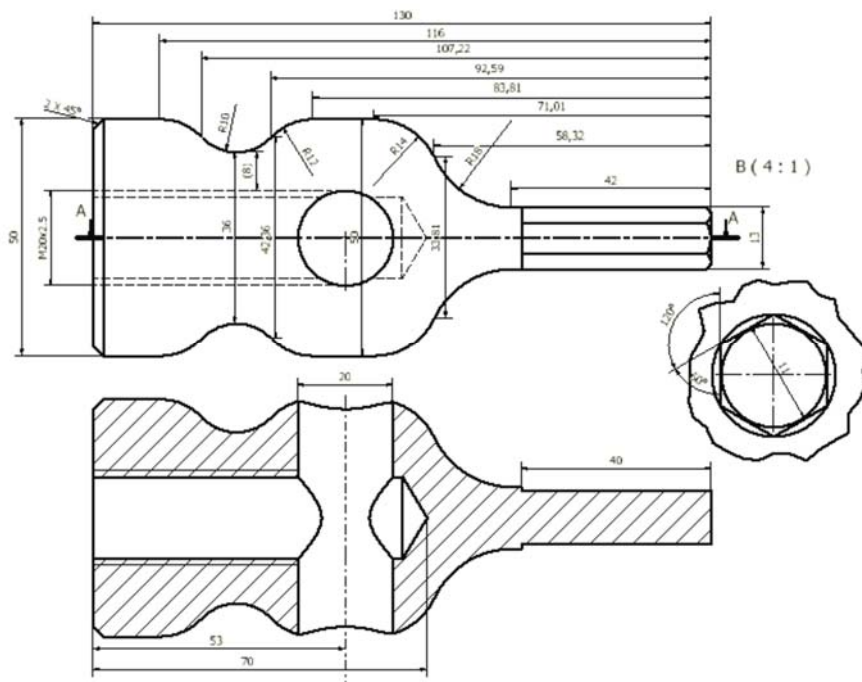
**Kuva 69. Hammaspyörä ja -tanko rakenne.**



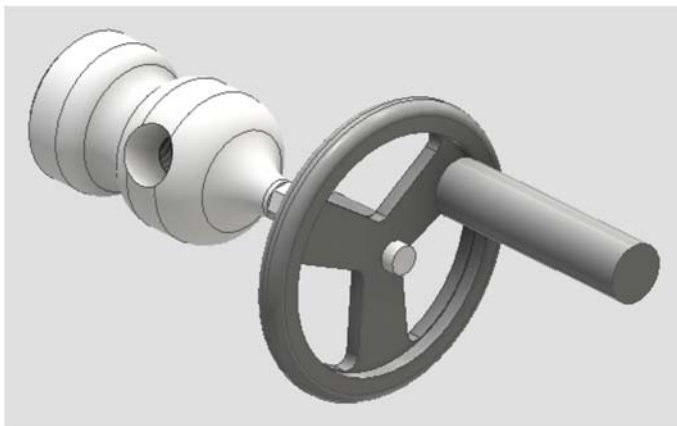
**Kuva 70. Konesyötön vetokaran liittyminen käsisyöttöön.**

### 4.5.5 Käsisyöttö

Työn käsisyöttö koostuu kuvan 71 sormilla pyöritettävästä nupista, joka kytketään tankoon kierrereialla ja nuppiin 13mm kuusiopään kautta liitettävästä joko käsipyörästä tai moottoriadapterista. Sorminuppi on muotoiltu ergonomisesti niin, että se muotoilee sormien luonnollista tartuntaa. Nupissa poikittain olevaan Ø20mm reikään laitetaan asennusvaiheessa pitkä tanko kiristuksen helpotusta varten. Kuvassa 72 näkyy vakiomallinen muovinen käsipyörä, joka on liitetty sorminuppiin. Kuusiopään kooksi valittiin 13mm, koska samantyyllisen sorminupin voi kiinnittää mm. karapylkkään kiinni ja käyttää moottorina porakonetta. Porakoneen moottorin kuumenemista kannattaa kuitenkin seurata ja käyttää sitä lyhyissä vaiheissa välillä sammuttaen esim. 15 minuutin välein, sillä sen moottori on tarkoitettu vain lyhytaikaiseen käyttöön.



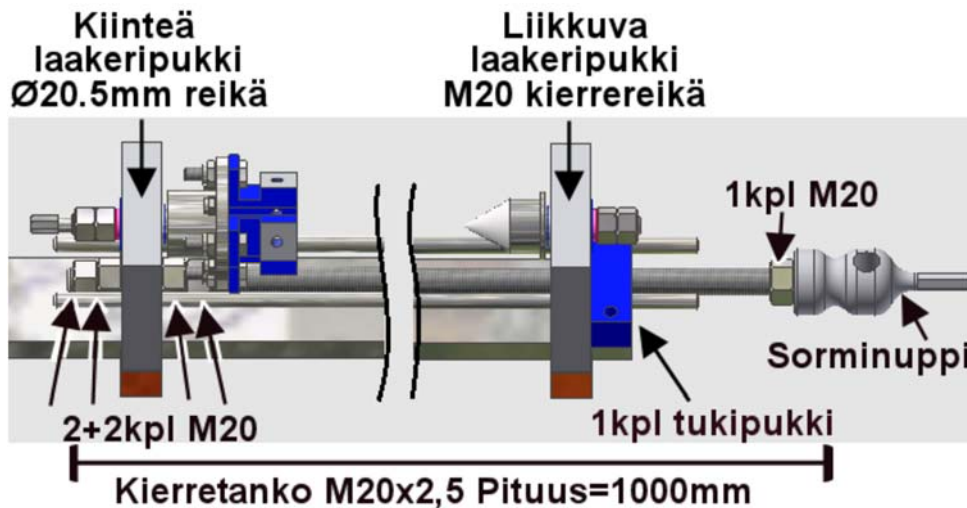
**Kuva 71. Koneistettu käsisyötön sorminuppi.**



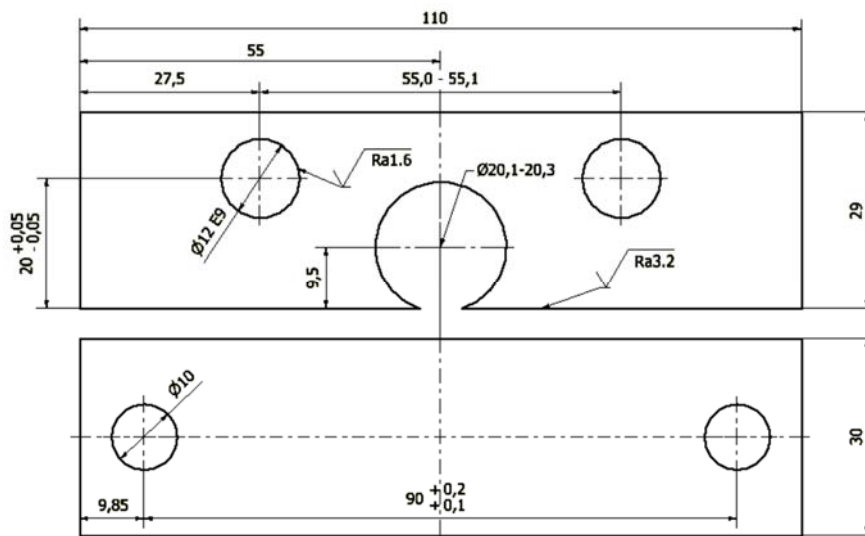
**Kuva 72. Sorminuppiin liitetty muovinen käsipyörä.**

#### 4.5.6 Pukit ja tuet liikeruuveille sekä teräkelkan pohja

Materiaalina käytetään seuraavissa osissa 30x30mm S355 neliötankoa, jota sahataan eri mittoihin. Osat noudattavat ISO 2768-m keskikarkeaa yleistoleranssin mittatarkkuutta. Kierretangot liitetään runkoon 2 päätypukilla, kelkan liikkua niiden välillä. Toisella päätypukilla kierretanko lukitaan 4kpl rinnakkaisilla muttereilla. Kärkipylkän siirtoon tarvittava kuvassa 73 oleva M20x2,5 kierretanko asetetaan jo valmiina olevan moottori-puolen laakeripukin n. Ø20,5mm reikään ja lukitaan siihen muttereilla. Tangolle lisätään toiseen päähän 1 tukipäätypukki 30x30x110mm, joka näkyy kuvassa 74. Kärkipylkkä toimii tässä liikkuvana kelkkana, jota voi siirtää liikeruuvilla. Etuna tässä on, että kärkipylkän liikkeen voi automatisoida tulevaisuudessa ja sähköistettynä se ei tarvitse ihmistä liikuttamaan sitä kuten perinteisessä manuaalisorvissa. Tämä rakenne on lähellä numeerisesti ohjatun sorvin toimintaa.

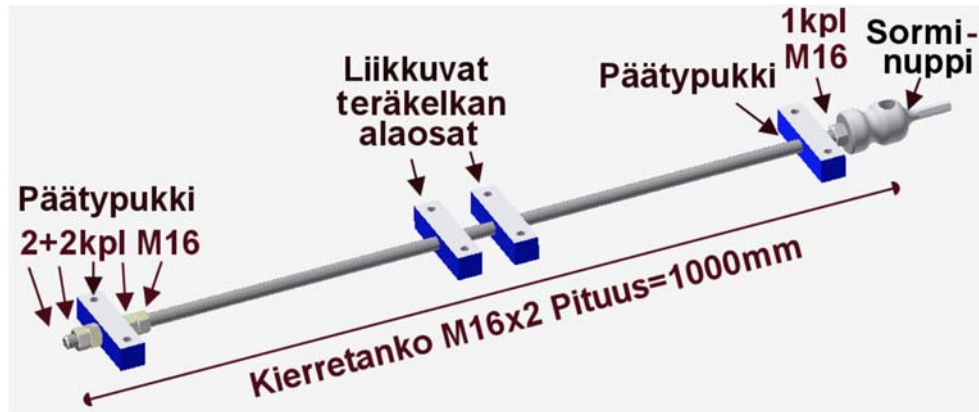


Kuva 73. Kokoonpano liikkuvalla kärkipylkällä.

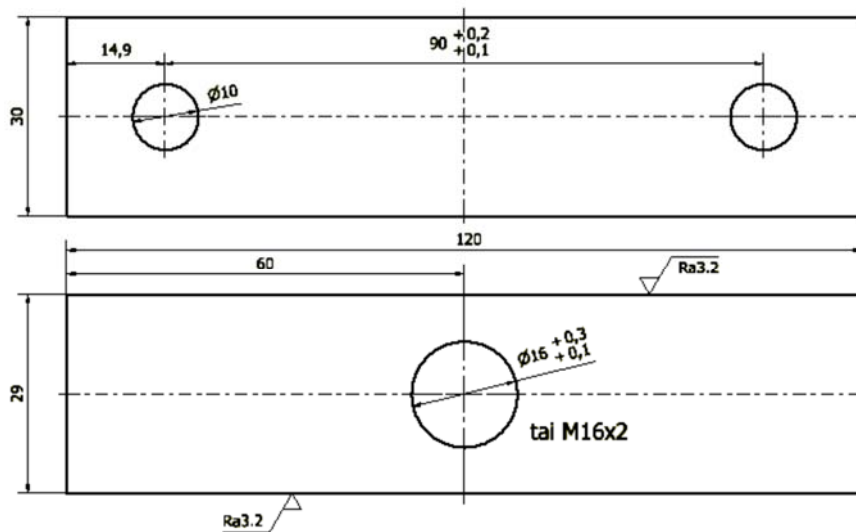


Kuva 74. Tukipäätypukki M20 kierretangolle rungon päähän.

Teräkelkan liikutteluun käytettävä kuvassa 75 oleva M16x2 kierretanko sijaitsee rungon alapuolella ja siihen liitetään kuvan 76 mukaiset erilliset runkoon kiinnitettävät päätypukit 2kpl ja kelkkoina toimivat tässä 2kpl teräkelkan alaosa, jotka ovat kierrereikää lukuun ottamatta samoja kuin päätypukit. Teräkelkan alaosien etäisyys toisistaan asetetaan tässä 30mm osiossa 4.6 näytettäviä X-liikkeen osia varten.

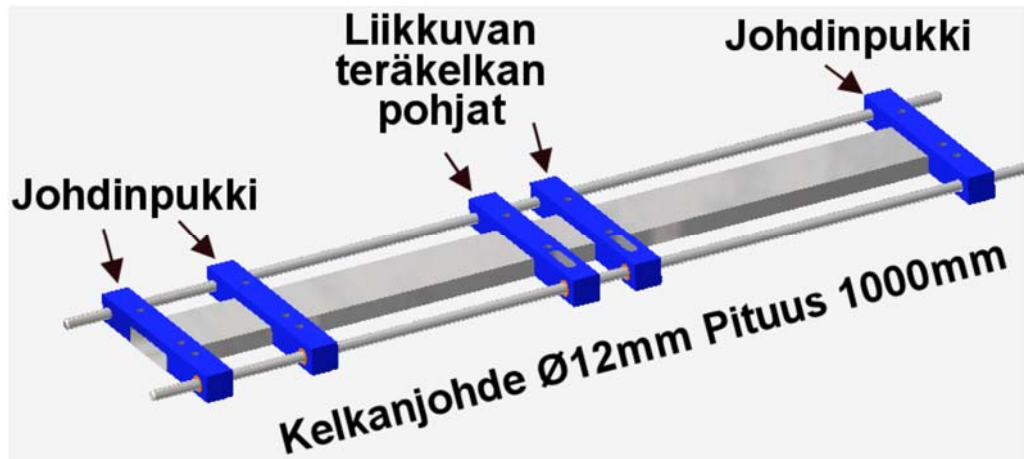


**Kuva 75. Kokoonpano liikkuvalle teräkelkalle rungon alapuolella.**

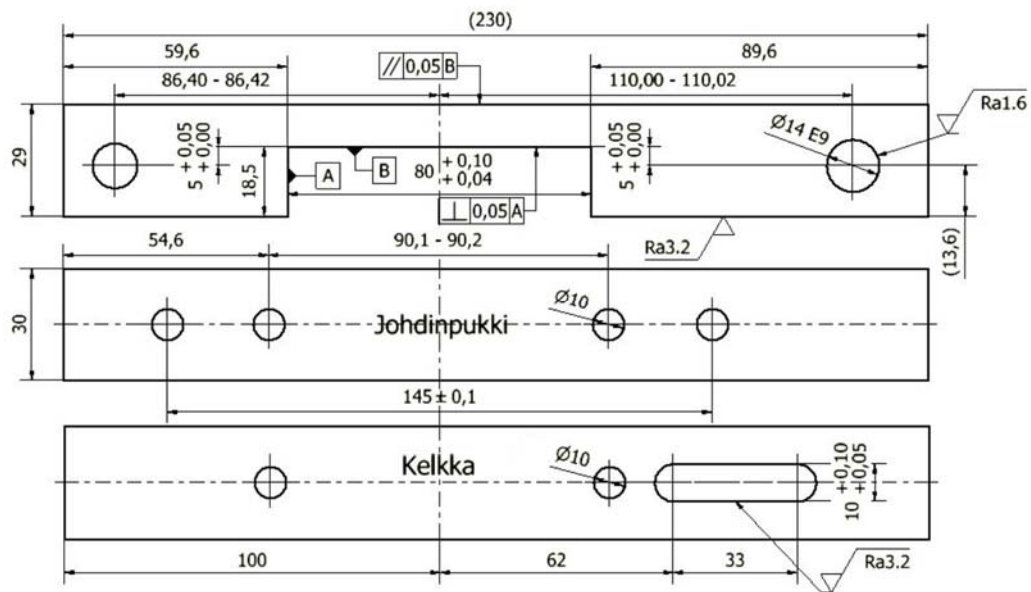


**Kuva 76. Päätypukki ja kelkka M16 kierretangolle.**

Teräkelkan kokoonpanoa korotetaan tässä rungon yläpuolelle kuva 77 tilan maksimointiseksi, jolloin sen rungon yläpuolella sijaitseva kokoonpano koostuu 3kpl johdinpuvista, 2kpl itse teräkelkanpohjan osasta ja 2kpl johtimesta. Kooltaan pukit ja kelkat ovat samankokoisia 30x30x230mm ja niissä on pieniä eroja, jotka näkyvät kuvassa 78. Tämä rungon yläpuolen kokoonpano liittyy rungon alapuolen vetävään kokoonpanoon, josta enemmän osiossa 4.5.8. Johtimien reiät täytyvät olla hyvin kohdallaan liikkeen sulavuuden takia ja se onnistuu koneistamalla kaikki mitat lähtien tasourasta, joka koneistetaan ensimmäisenä toimien referenssipisteenä rei'ille.



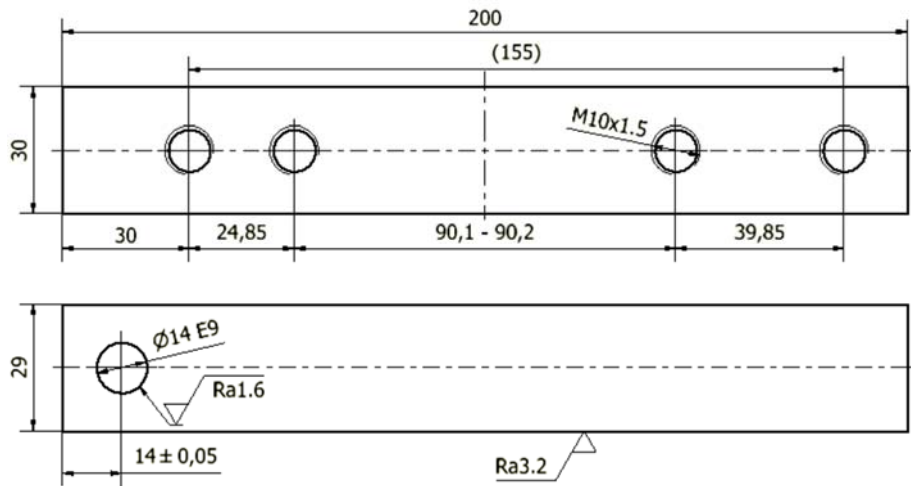
Kuva 77. Kokoonpano liikkuvalla teräkelkalle rungon yläpuolella.



Kuva 78. Teräkelkan johdinpukki ja kelkka.

#### 4.5.7 Sorvin jalat

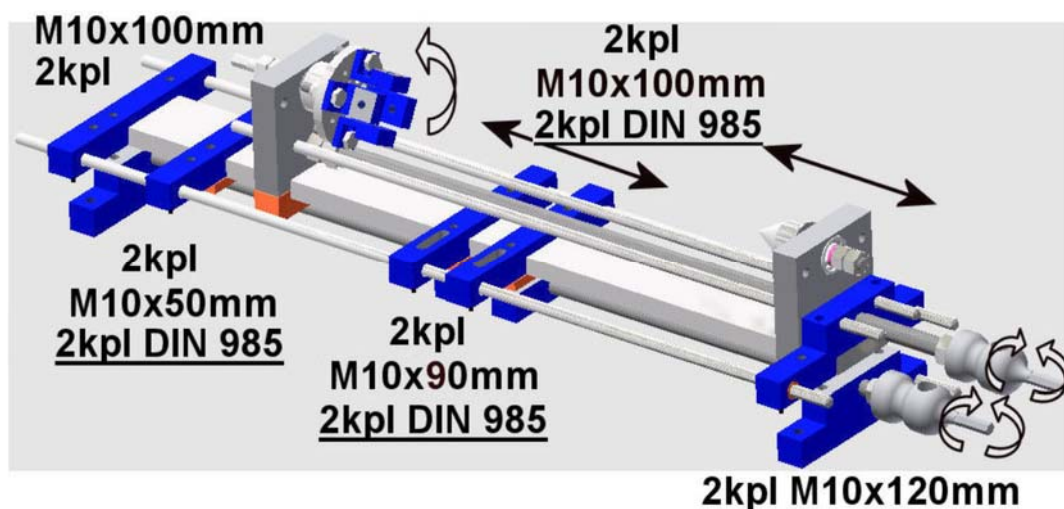
Sorvin jalat kuva 79 toimivat ulottuman jatkeena käsipyörille ja samalla niissä oleviin 2kpl M10 kierrereikiin voi kiinnittää, joko kumitassut tai pultit, joilla se laitetaan erilliseen pöytään kiinni. Jalat ovat kooltaan 30x29x200mm ja ne linjataan samansuuntaisiksi 1 johdintangon ja sisempien kierrereikien avulla runkoon asennettaessa. Uloimmat kierrereivät ovat tarkoitettu kumitassuille tai pöytäpulteille.



Kuva 79. Sorvin jalka.

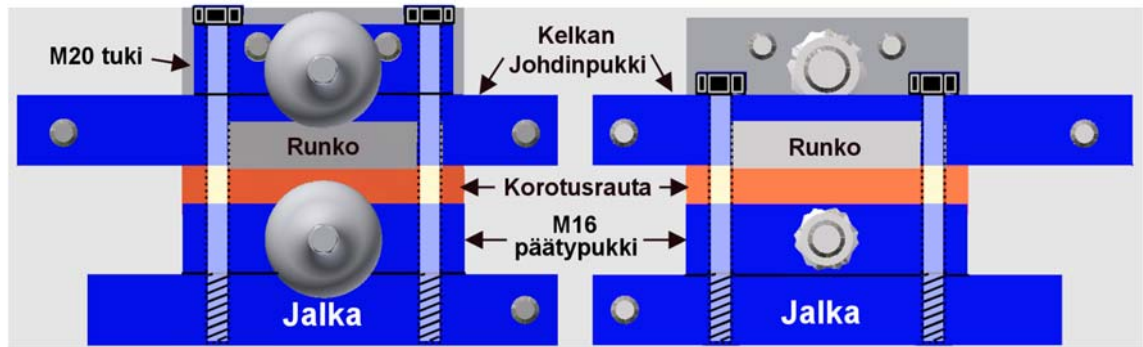
#### 4.5.8 Z-liikkeen ja kärkipylkän valmis kokoonpano

Kuvaan 80 on sijoitettu kummatkin M20 ja M16 kierretangot kokoonpanoon ja tarvittavat pidinosat niille. Rungon yläpuolen teräkelkan kokoonpanon ja alapuolen teräkelkan kokoonpanon yhdistämiseksi toisiinsa tarvitaan kuvassa 81 näkyviä korotusrautoja, koska ilman näitä kuvissa 82 ja 83 olevat laakeripukkien kiinnittämiseen tarvittavat vastinkappaleet osuisivat M16 kierretankoon. Korotusrautojen pariaksi hienosäätöön sopivat hyvin neliskanttiset aluslevyt DIN 436 ja myös ohuimmat shimmilevyt, jotta oikean korkeuden säätäminen kohdalleen onnistuisi helposti. Kuvan 81 moottoripuoleisessa kokoonpanossa tarvitaan pulttien kooksi M10x100mm, sillä siinä osien paksuudet ovat 29, n.10, 29 ja 29mm. Kärkipuolelle tarvitaan pultit M10x120mm, sillä siinä osien paksuudet ovat 29, 29, n.10, 29 ja 29mm.

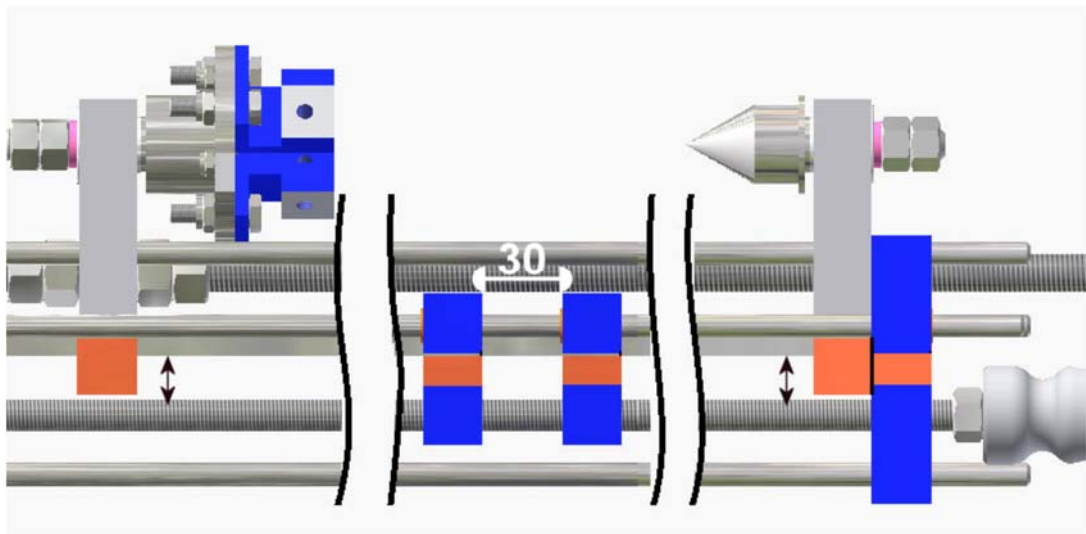


Kuva 80. Pituussuunnassa liikkuvien osien asennus ja liikeradat.

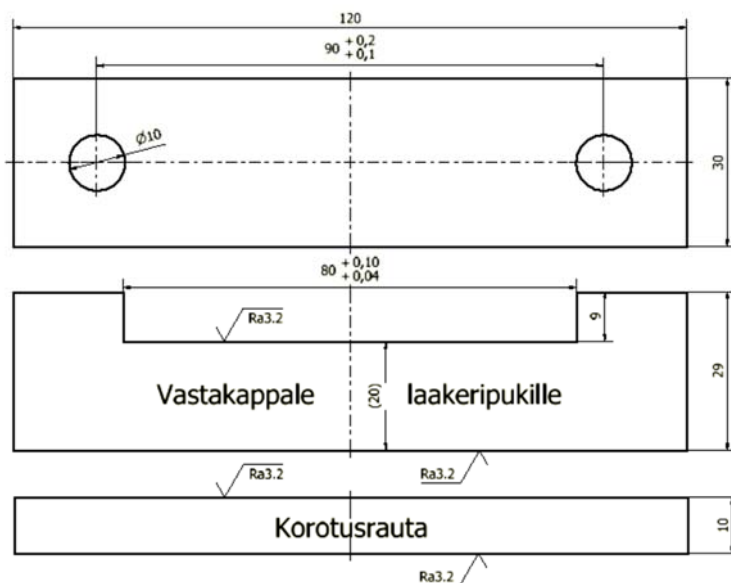




Kuva 81. Pituussuuntaisten liikkeiden päätuputtien koot 120 ja 100mm.



Kuva 82. Korotusrautojen ja aluslevyjen käyttö korkeuden säätöön.

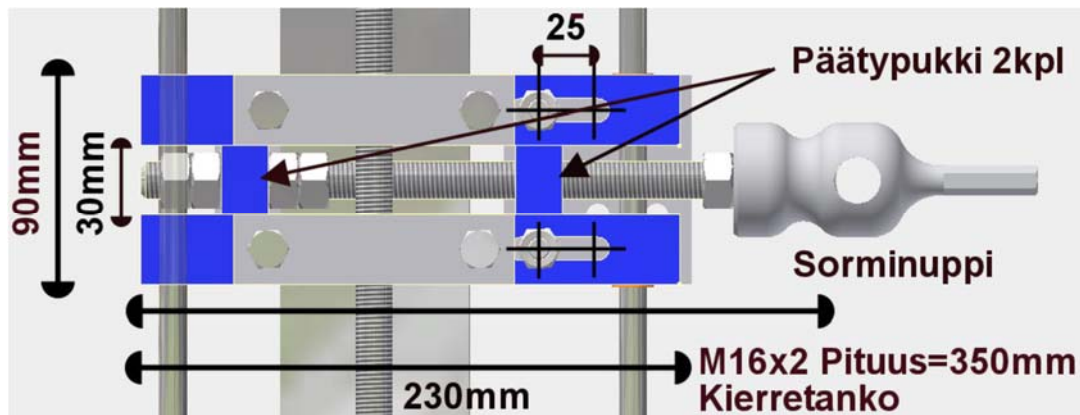


Kuva 83. Korotusrauta ja laakeripukin vastakappale.

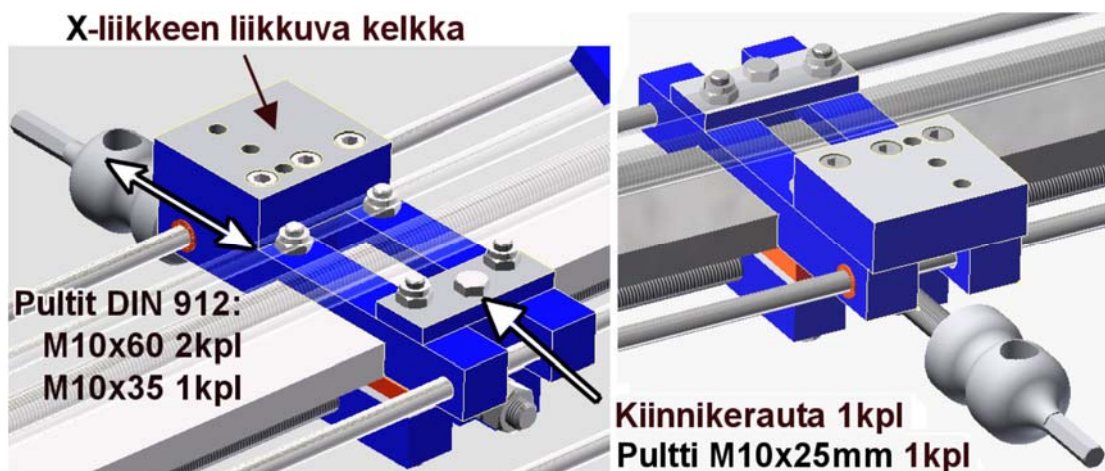
## 4.6 X-liikerata

Metallisorvia varten tarvitaan vielä sorvin käydessä X-liikkeen mahdollistava johtoruuvi kokoonpano. Puusorvin tekoa varten tätä ei ole tarve tehdä tai jos haluaa siirtää teränvartta käsin sorvin ollessa sammuksissa niin voi siirtyä osioon 4.7. Tässä esitetään kätevä ratkaisu tehdä yksinkertainen ja toimiva 4 koneistettavan lisäosan tarvitsema teräkelkka kokonaisuus johon voi liittää jälkikäteen osion 4.7 tai 4.8 mukaisen työstötuen.

Poikittaisliikkeen siirtomatkan tarve on pienoissorvilla pieni, koska maksimi aihion koko tässä työssä on Ø100mm. Näin esim. 25mm liike on jo riittävä, sillä terän liikkuessa säteittäin 25mm on se aihion mitassa jo Ø50mm lastuaminen. Teräkelkan pituussuuntaiset pohjakelkat olivat siis aiemmin asetettu 30mm etäisyydelle toisistaan kuten kuvassa 84 ja niiden väliin tulevat nyt poikittaisliikkeen 30x20x60mm päätypukit 2kpl, 350mm pitkä M16x2 kierretanko sekä kuvassa 85 olevat 80x30x90mm kelkka ja 30x10x90mm kiinnikerauta.



Kuva 84. Teräkelkka kokoonpano suoraan alhaalta katsottuna.

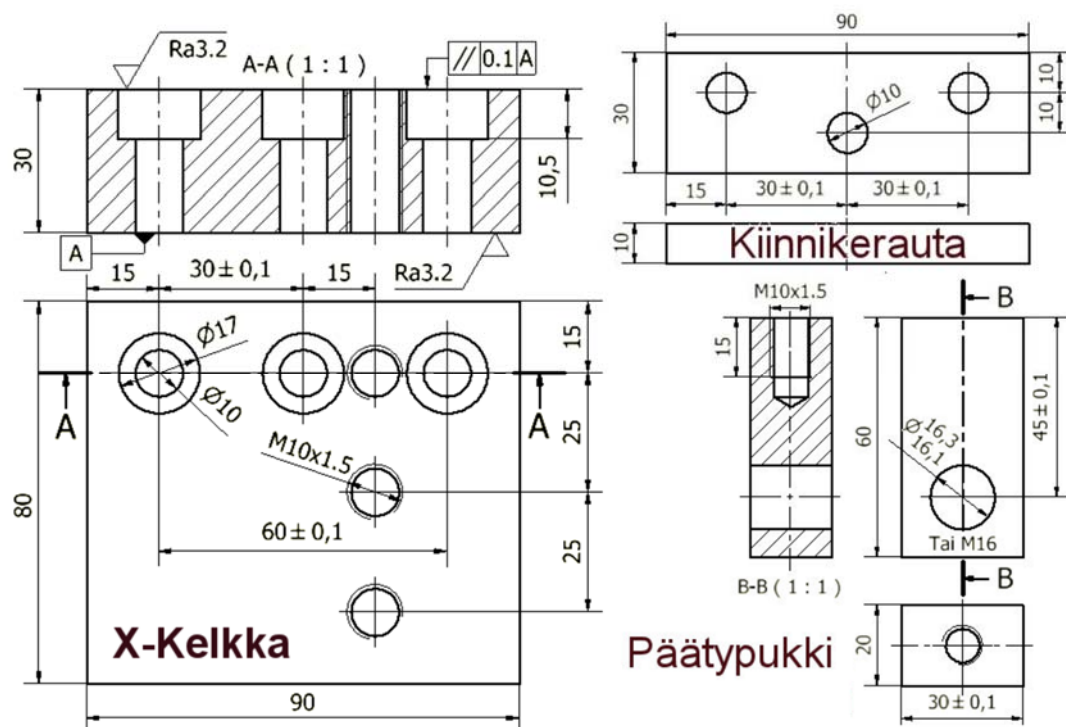


Kuva 85. Teräkelkka kokoonpano ylhäältäpäin katsottuna.



Osien asennuksessa sorminuppi lukitaan yhden tavallisen DIN 934 mutterin avulla kierretankoon. Kelkkaan kiinnitetään yhdellä upotetulla M10x35mm DIN 912 kuusiokolopultilla kierteellinen M16 päätypukki. Poikittaiskelkan reikien ja pituussuuntaisen kelkan aukkojen läpi viedään johtimiksi 2kpl osakierteellisiä upotettuja M10x60mm DIN 912 kuusiokolopultteja, jotka kiinnitetään DIN 985 lukkomuttereilla jättäen pienen välyksen n.0,1-0,2mm liikkeelle. Toiseen päähän asennetaan pituussuuntaiseen kelkkaan kiinnikerauta kelkan jo olemassa oleviin pultteihin samalla tavalla kuin edellä, eli pienellä välyksellä DIN 985 lukkomuttereilla. Kiinnikerautaan taas kiinnitetään Ø16mm reiän omaava päätypukki pultilla, joka on M10x25mm kokoinen. Lopuksi kierretanko lukitaan molemmin puolin toisen pään pukkiin 4kpl perus DIN 934 mutterilla.

Kuvassa 86 on eritelty tarkemmat valmistuskuvat edellä mainituista osista. X-Kelkan pulttien täytyy olla upotettuja, jotta kelkan päälle voidaan myöhemmin asentaa työstötuki. Upotettujen pulttien M10 DIN 912 päinhalkaisija on Ø16mm ja syvyys 10mm, joten ne mahtuvat hyvin kelkkaan koneistettuihin upotusreikiin.

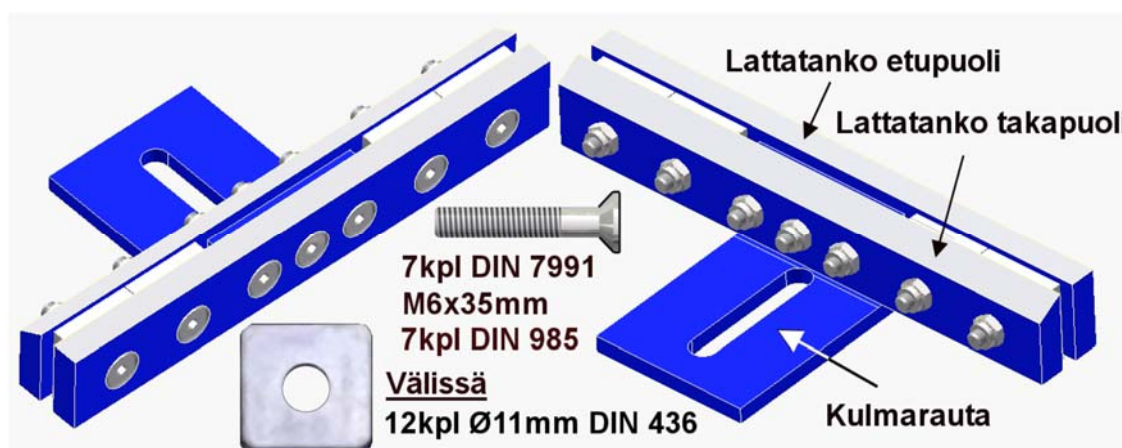


**Kuva 86. X-liikkeen kelkka, päätypukki ja kiinnikerauta.**

Tiiviin rakenteen tavoittelu ja tukevuus ovat olleet tärkeitä tavoitteina Z- ja X-kelkkojen rakenteissa mm. erillisiä kokopitkiä tankojohteita ei olisi ollut tilan puutteen takia helppoa laittaa. Nyt X-kelkassa oleviin 3kpl M10 kierrereikiin voi asentaa seuraavien osioiden 4.7 ja 4.8 varusteet.

## 4.7 Taltantuki

Puunsorvaamisessa käytettävä taltantuki kuvassa 87 ja 88 koostuu 3 osasta ja se kiinnitetään yhdellä M10x35mm pultilla ja Nord-lock lukitusaluslevyllä X-kelkkaan. Pohjan muodostaa kulmarauta, jonka taitokseen kiinnitetään molemmin puolin lattatanko 7kpl uppokantaisella M6x35mm DIN 7991 pultilla ja lukkomuttereilla DIN 985. Laittaen kulmarautojen väliin täytteeksi n.12kpl neliöaluslevyjä DIN 436, joiden koko on M10 tarkoitettu 30x3x30mm. Taltantuessa on tärkeää tehdä pieni viiste taltalle lattatankojen pituussuuntaan n. alle 30° kulmaan. Erityisen isoa sormitilaa on pienoissorveilla tilan puutteen takia hankala tehdä taltantukeen. Kahdesta osasta muodostuvat lattatangot antavat mahdollisuuden tehdä esim. ohutlevystä erillisen vaihdettavan liukuprofiilin, jonka voi puristaa kiinni tankojen väliin aluslevyjen toimiessa paksuuden säätölevyinä. Näin kulu- tusosana toimiva taltanliukumapinta voidaan vaihtaa uuteen ohutlevyprofiiliin kätevästi liukumapinnan kuluessa. Ilman vaihdettavaa erillistä liukumapintaa täytyisi lattatangot lopulta vaihtaa niiden kuluessa uuteen, eli tankojen suojaus ja kunnossapito ovat tärkeitä, jotta ne pysyisivät sileänä ja taltta liikkuisi niiden pinnalla sulavasti. Uppokantaiset kuusiokolopultit mahdollistavat taltantuen tuomisen lähelle ahiota ilman, että ruuvinpäät olisivat haitallisesti tiellä.

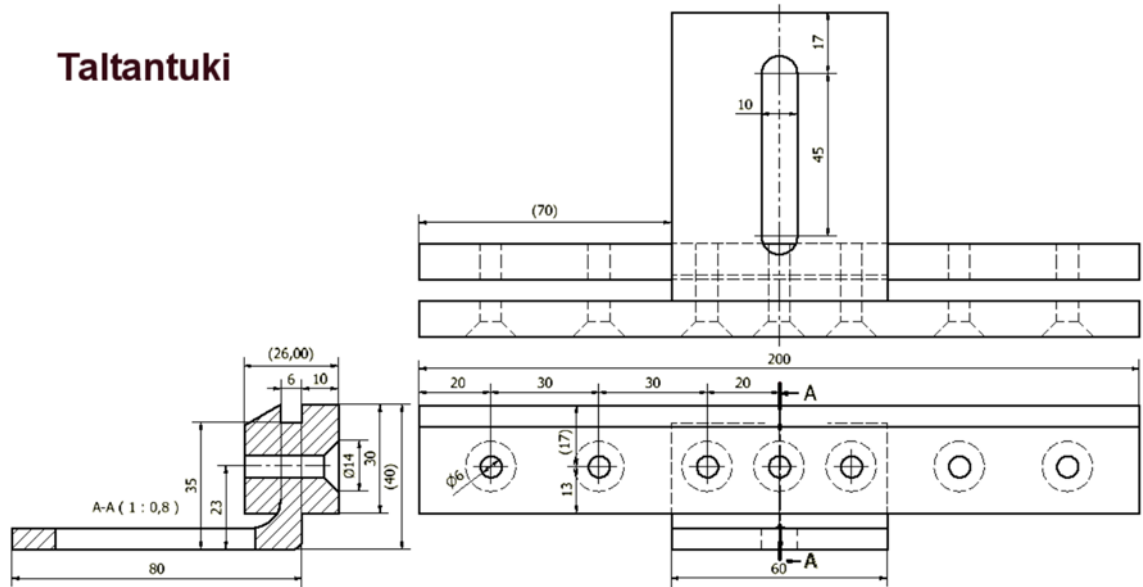


**Kuva 87. X-liikkeen kelkkaan kiinnitettävän taltantuen kokoonpano.**

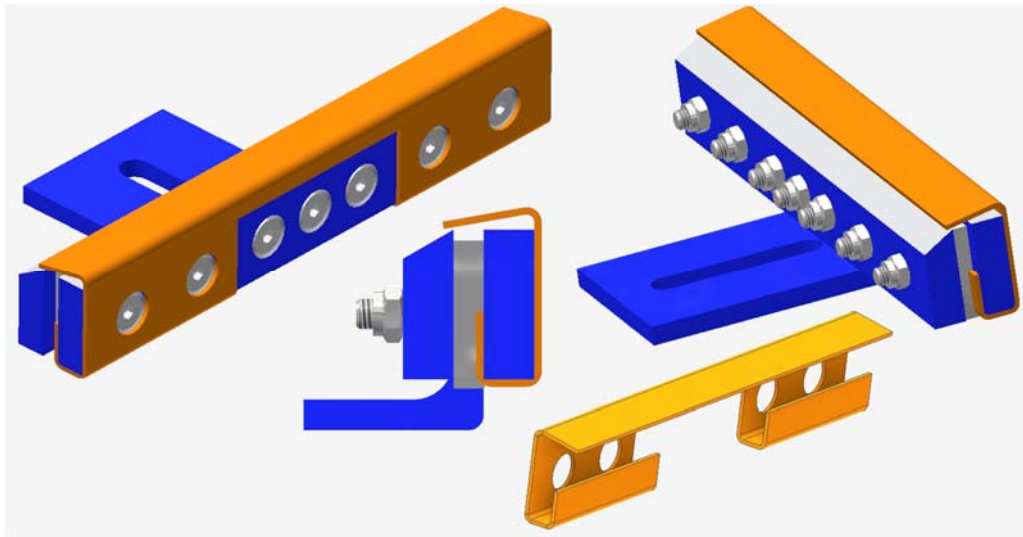
Muutettavuus on läsnä taltantuessakin, sillä vaihdettavat lattatangot mahdollistavat mm. eripituisten tankojen käytön. Tässä on esimerkkinä valmistettu 200mm pitkät lattatangot. Tämä 200mm on sopiva keskipituus työn 500mm kärkivälin sorville. Kulmia vaihdettaville lattatangoille voi kokeilla useita loiva n.10-20° kulma on yleisin. Helpoiten eri kulmia pystyy valmistamaan tekemällä aiemmin mainittuja ohutlevyprofiileja ja käyttämällä tankoja vain alustana tästä esimerkki kuvassa 89.

Kuvassa 88 olevista mittapiirustuksista on esillä mm. taltantuen liikkuvuus, joka on poikittaissuunnassa säädettävissä 45mm eli Ø100mm ahiota työstettäessä on käytössä sen kauimmainen säätö ja työstön jatkuessa taltantukea voi säätää edelleen lähemmäksi ahiota. Kulmarauta on tehty paksusta 6mm teräksestä, joka kestää tärisemättä työstöä.

## Taltantuki



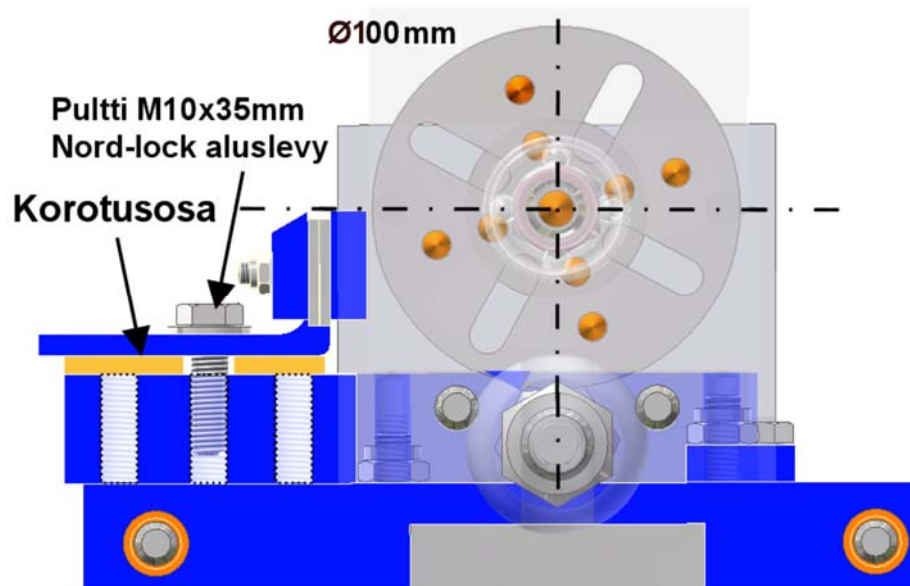
**Kuva 88. Valmistuskuva taltantuen osille.**



**Kuva 89. Kulutusosana toimiva taltan vaihdettava liukuprofiili.**

Kuvassa 90 näkyy lopullinen asennuskuva sorviin kiinnitettynä. X-kelkan kolmesta M10 reiästä valitaan yksi, johon tuki kiinnitetään. Kelkan ja tuen väliin laitetaan korotusosia, jotta taltan terä kohdistuisi keskiöpiikkiin yläpuolelle. Korotukseen kelpaavat mm. neliöaluslevyt DIN 436. Korotusosan paksuus vaihtelee siis taltan suuruuden, eli taltassa käytetyn teräksen paksuuden mukaan ja näin vain yhtä vakiopaksuutta ei voida korotusosalle määrittää. Kuvassa 91 olevia kourutalttoja vertaillen esim. 6mm leveä kourutaltta nousee taltantuesta n.2mm, 10mm leveä kourutaltta n.3mm ja 40mm leveä kourutaltta jo n.6mm. Tällä hetkellä kuvassa 90 oleva korotusväli on 5mm, jolloin tuki asettuu tasan keskiökärkeen. On suositeltavaa turvallisuussyistä, että taltan terä on puuntyöstössä aina ylempänä kuin keskiökärki, jolloin tämä 5mm on hyvä aloitusasetus. Taltantuen korkeutta

voi kehittyessään hienosäätää sitten paremmin. Säätmahdollisuuksia on useita modulaarisuudesta johtuen mm. taltantuen lattatankoja voi vaihtaa korkeudeltaan lyhemmiksi tai korotusosan voi ottaa pois kokonaan, jotta saataisiin haluttu säätövara aikaiseksi.



**Kuva 90.** Taltantuki ja pöydällinen piikkivääntö Ø100mm puuaihiolle asetettuna.

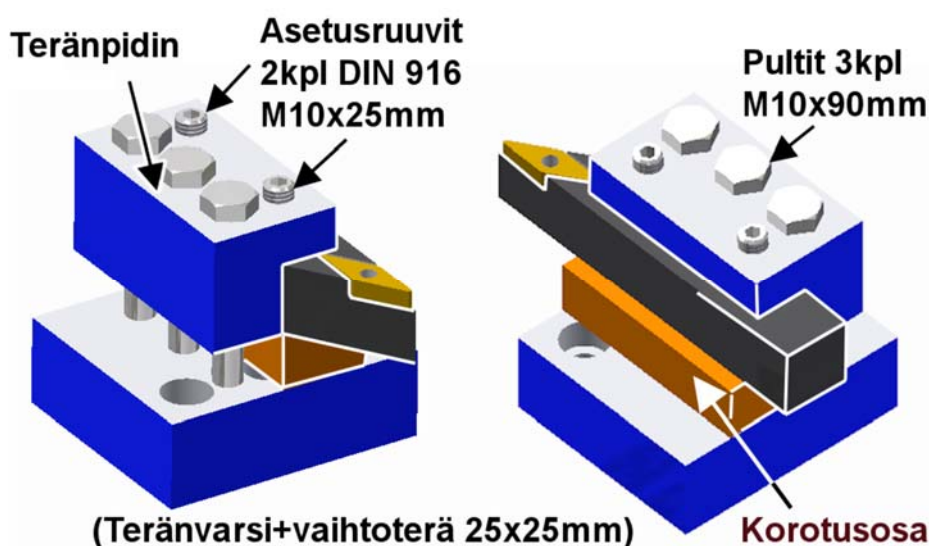


**Kuva 91.** Erikokoisia kourutalttoja alkaen 2mm alaoikealta edeten vasemmalle 40mm asti.

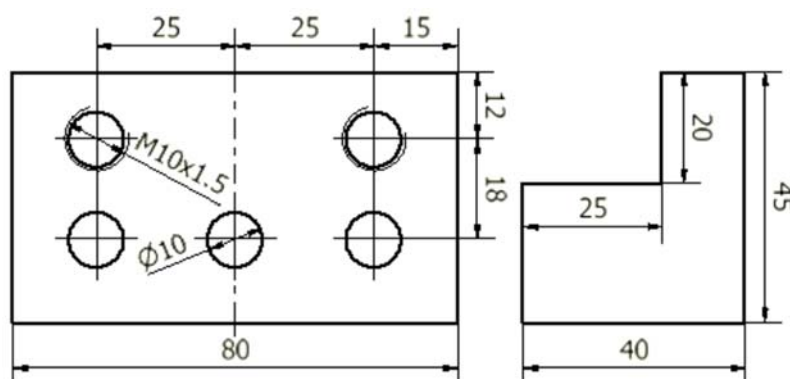


## 4.8 Teränpidin

Metalli- ja muovisorvauksessa käytettävä kuvan 92 teränpidin koostuu vain 1 koneistettavasta osasta, eli L-muotoisesta teränpitimestä. Tämä kiinnitetään 3kpl M10x90mm pultilla kiinni X-kelkan kierrereikiin ja niiden väliin asetetaan puristuksiin teränvarsi sekä korotusosa korkeuden säätöä varten. Lisää lukitusvoimaa antavat 2kpl M10x25mm DIN 916 asetusruuvia. Kuvan 93 mittapiirustuksesta näkyvät tarkemmin 3kpl Ø10mm läpi-reikää ja 2kpl M10 kierrereikää. Teränvarsia on neliön ja pyöreän muotoisia, tässä käytetään neliön muotoisia. Teränpitimen teränvarren syvennys on koneistettu kooltaan 25x20mm ja kuten talttojakin on varsia useita kokoja. Keskikokoisissa metallisorveissa käytetään 25x25mm kokoisia terävarsia, muita yleisiä kokoja ovat esim. 32x32mm, 20x20mm, 16x16mm, 12x12mm ja 10x10mm. Teränvarren pituus on n.100-200mm, mutta vartta voi helposti lyhentää sahaamalla haluamakseen, koska se on tehty pehmeästä teräksestä eikä sitä ole esim. karkaistu.

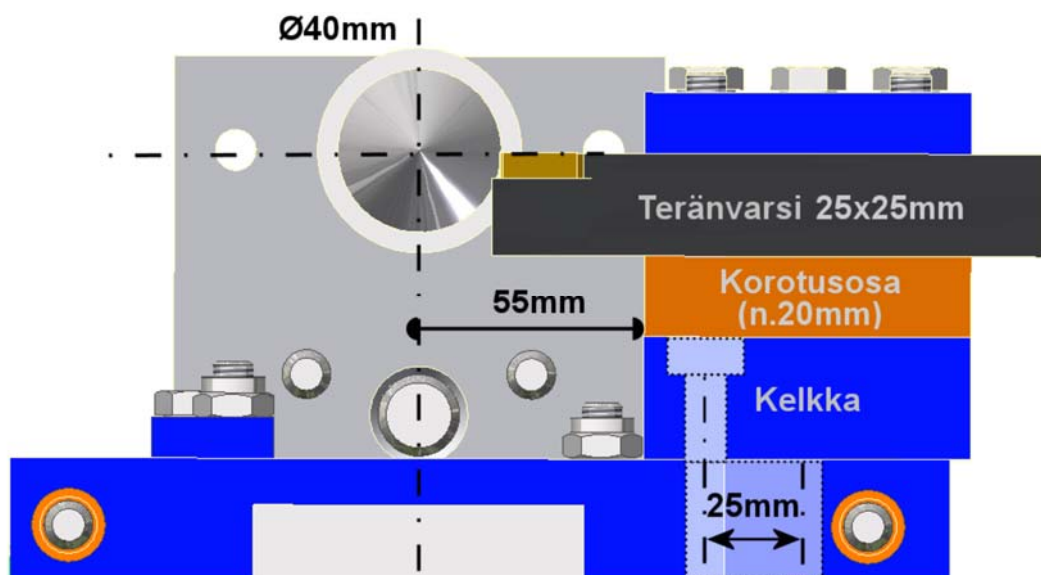


Kuva 92. Teränpitimen kokoonpano kuva.



Kuva 93. Valmistuskuva teränpitimelle.

Teränpitimen korkeudensäätö tapahtuu kuvan 94 mukaisesti. Siinä on mallina 25x25mm kokoinen neliöteränvarsi, jolloin korotusosa on lähellä n.20mm. Tarkempi mitan tarkistus on tehtävä asennuksessa, jotta teräpalan yläpinta osuisi keskiökärjen kanssa samalle tasolle. X-kelkan liikkumisvara johtoruuvilla n.25mm pitää ottaa huomioon, jotta teränvarsi olisi puristettu kiinni kelkkaan oikealle lähtöetäisyydelle. Esim. kuvan 94 asetuksessa pystyy Ø90mm aihion työstämään Ø40mm kokoon johtoruuvien X-liikkeen avulla. Tästä eteenpäin pitää teränvarsi irrottaa ja asettaa uudelleen. Huomiona kuitenkin on, että tässä pienoissorvissa kuten osiossa 4.2.4 todettiin neljäleuka istukkaan mahtuvan leukojen takia vain n. Ø50mm teräs- tai muoviaihiio.



**Kuva 94. Teränpalan kohdistus ja kelkan liike.**

## 4.9 Moottoroiminen

Sorvin pyörimisvoima muodostuu 2000-luvulla tavallisesti, joko tasa- tai vaihtovirtamoottorista. Tasavirta lyhennetään yleisesti lyhenteellä DC, joka tulee englanninkielisestä direct current sanasta. Vaihtovirta taas lyhennetään AC:ksi, joka muodostuu englannin alternating current sanasta. Moottorin kiinnitystapoja sorviin on kaksi, joko kytkimellä tai kiilahihnalla. Seuraavissa osioissa käymmekin läpi, kuinka työn pienoissorvin voi sähköistää. Tällöin puhutaan sähkömoottorikäytöstä. Alussa on esillä moottorin mekaaninen sijoittaminen ja liityntä sorviin. Lopuksi tarkastelemme eroja työhön sopivilla AC- ja DC-moottoreilla sekä niiden portaattomien tehonsäätimien rakenteita.

### 4.9.1 Moottorikäyttö ja turvallisuus

Käytettäville koneille kuten sorville on säädetty useita lakeja, joissa ovat esillä esim. riskien arviointi, käyttöohjeen tekeminen, sähköturvallisuus ja muut pakolliset turvallisuusvaatimukset joita koneen pitää täyttää. Moottoroimisessa tärkeimmät asiat ovat moottorin

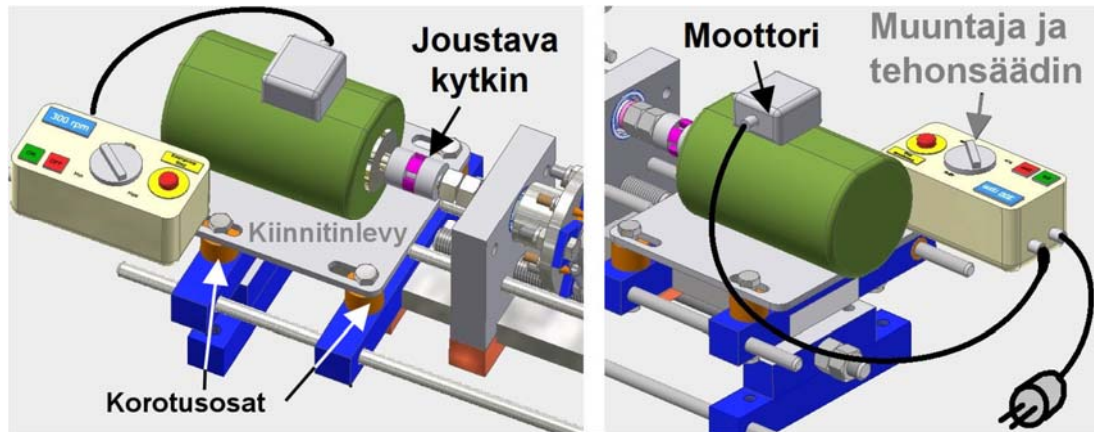
sammuttaminen, jos tapahtuu vaaratilanne ja sorvin tahattoman käynnistymisen estäminen esim. sähkökatkoksen jälkeen. Ensimmäinen hoidetaan hätä-seis-painikkeella, joka katkaisee virran moottorille ja sen vääntömomentti katoaa. Häätapysäytys painonappi on sienimäisen muotoinen punainen painike, joka ympäröidään keltaisella renkaalla. Kun painike on ylhäällä, virta pääsee kytkimen ohi ja kun painike on alhaalla, virta on katkaistu ja se ei pääse jatkamaan eteenpäin ohi kytkimen. Tahattoman käynnistymisen taas estää nollajännitekytkin joka laukeaa eli avaa kytkimensä, kun sähkökät katoavat. Näin sorvi ei käynnisty itsestään virtojen yhtäkkisessä palaamisessa. Muita lisättäviä kytkimiä ovat turvakytin ns. ON/OFF-kytkin englanniksi, joka kytkee virran joko päälle tai pois ja moottorinsuojakytkin, joka katkaisee virran ylikuormitustilanteessa [46].

Sorvi käynnistetään siis avaamalla hätä-seis-painike ylös, laittamalla turvakytin ON-asentoon ja painamalla yleensä vihreän väristä käynnistyspainiketta englanniksi start. Sorvi sammutetaan painamalla yleensä punaisen väristä sammutuspainiketta englanniksi stop ja varmuudeksi voi asettaa lisäksi turvakytimen OFF-asentoon käytön loputtua. Kone sammuu lisäksi myös painamalla aiemmin mainittua hätä-seis-nappia. Nämä kaikki edellä mainitut sähkölaitteet auttavat paljon vaaratilanteiden ehkäisyssä, mutta pääasiallinen turvallisuus lähtee kuitenkin aina käyttäjästä.

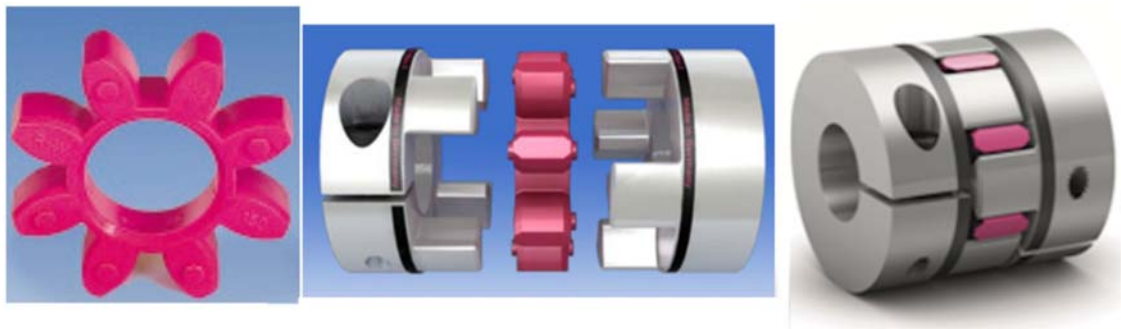
#### 4.9.2 Suoraveto

Suoravedossa kuva 95 moottori kiinnitetään kytkimellä suoraan karapylkän päähän kiinni. Tällöin moottorin akselin täytyy olla tarkalleen samankeskinen  $n.\pm 0,1\text{mm}$  karapylkän akselin kanssa, eli moottorin korkeus ja paikoitus sivusuunnassa pitää olla oikea. Moottori kiinnitetään kiinnitinlevyllä ja korotusosilla oikealle paikalleen. Perässä olevissa kahdessa päätybukissa on 4kpl  $\varnothing 10\text{mm}$  reikiä, joihin saa M10 pulteilla kiinnitinlevyn kiinni kuten kuvassa. Kytin kiristetään myös pulteilla kiinni akseleihin. Tässä kytkimen esimerkiksi on otettu saksalaisen R+W:n valmistama joustava kytin kuvassa 96, jossa on 3 osaa, eli metalliset päätypalat ja keskellä joustava kuminen elementti, joka pehmentää liikettä ja vaimentaa tärinää. Kytkimen valinnassa tärkein parametri on moottorin vääntömomentti yksikkönä Nm, jotta valittu kytin ei menisi rikki. Kehittyneempiä turvakytimiä on olemassa näiden tavallisten kytkimien lisäksi. Ne eivät mene rikki vaan rajoittavat mekaanisesti esim. jousi laakeri pidätyksellä vääntömomenttia irtautumalla akselist, jos se ylittää tietyn säädettävän ylikuormitusrajan turvakytimellä. Mekaanisten turvakytimien etu elektronisiin antureihin, jotka toimiakseen mittaavat sähköisesti jännitettä, tehoa tai vääntömomenttia on, että mekaaniset toimivat nopeammin reagointiaika on  $n.3\text{-}5\text{ms}$  kun elektroniset vaativat  $n.10\text{ms}$  ajan [47,48].





**Kuva 95. Sähkömoottorin kytkentä suoraan karapylkän akselille kytkimellä.**



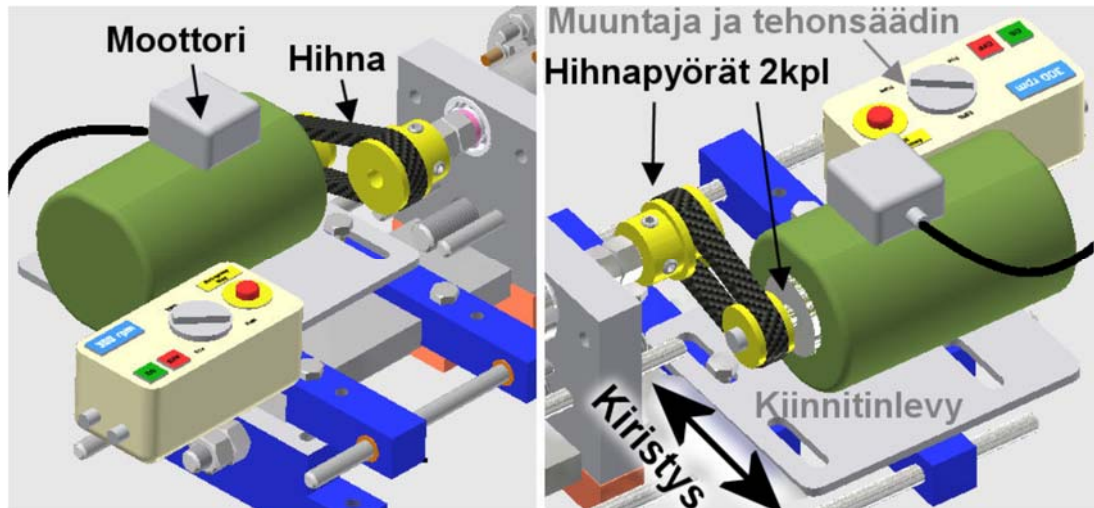
**Kuva 96. R+W:n valmistama joustava kytkin perustuu lähteeseen [47].**

### 4.9.3 Hihnaveto

Kiilahihnavälitys kuvassa 97 on yleinen sorvikäytössä, tässä moottoria ei tarvitse keskitää karapylkälle riittää, että hihnapyörät ovat keskenään samansuuntaisia tarkka arvo on n.0,002 kertaa akseliväli. Se voi siten sijaita epäkeskisenä ja etäällä karapylkän akselia. Tämä tapa on monipuolisempi ja sallivampi esim. muita korotus- tai sovitusosia ei tarvitse. Portaattoman tehonsäädön mahdollistavat elektroniset nopeudensäätimet ovat yleistyneet 2000-luvulla ja vanhoissa sorveissa aiemmin esiintyneet porraskäytöt ovat nykyään kadonneet. Säätimet ovat helposti saatavissa ja edullisia, mutta jos moniportaisen hihnapyörän haluaa tehdä kannattaa se keveyden vuoksi valmistaa alumiinista, koska pyöriin kertyy helposti painoa.

Hihnan kiristämistä ja löystyttämistä varten toisin sanoen moottorin siirtämistä varten on kuvan 97 kiinnitinlevyn pultinaukkoja levennetty poikittaissuuntaan. Oikea kiristäminen n.2% on tärkeää hyppivän ja luistavan hihnan aiheuttaman värinän ja karan nopeuden muutoksen välttämiseksi. Jos kuvan 97 hihna olisi pidempi voisi siihen käyttää myös erillistä kiristysrullaa painamaan hihnaa. Kiilahihnojen ja pyörien profiilit ovat standardoituja ja niille löytyy erilaisia profiilitunnuksia mm. Z, A, B, C, D ja E. Hihnat täytyy myös työturvallisuuden vuoksi aina peittää erillisellä hihnasuojuksella, joka on yleensä hihnaa

myötäilevä ohutlevyinen kotelo. Jos hihnapyörät koneistetaan itse ja pienoissorvia käytetään suurilla nopeuksilla. Täytyy huomioida pyörien tasapainotuksen tarkistaminen erittäin sulavan liikkeen saamiseksi [24]. Tässä elektronisella nopeussäädöllä varustetussa sorvissa hihnapyörät ovat samankokoiset, jotta välityssuhde ei muuttuisi. Hihnapyöriin pystyy soveltavamaan myös mekaanisia turvakytкимиä rajoittamaan ylikuormitusta kuten aiemmin mainitussa suoravedossa.



**Kuva 97. Sähkömoottorin kytkentä epäkeskisesti kiilahihnavälityksellä karapylkkään.**

#### 4.9.4 Moottorin tehontarpeen laskeminen ja valinta

Sorvin päämoottorin tehon tunnus on  $P$  [W]. Teho lasketaan sorville kaavalla (3). Siinä  $\eta$  on moottorin hyötysuhde esim. 0,8. Lastunpoikkipinta-alan tunnus on  $A$  [mm<sup>2</sup>]. Se saadaan, kun lastuamissyvyys kerrotaan syötöllä kierrosta kohden. Ominaislastuamisvoima  $k_c$  [N/mm<sup>2</sup>] on riippuvainen lastuttavasta materiaalista. Esim. alumiinille se on n.500N/mm<sup>2</sup> ja teräkselle alkaen n.1400N/mm<sup>2</sup>. Lastuamisnopeuden tunnus on  $V$  [m/s] [29].

$$P = F \cdot V = \frac{1}{\eta} \cdot A \cdot k_c \cdot V \quad (3)$$

Tästä esimerkkinä pienoissorvilla alumiinin koneistus kovametalliterällä, jolloin lastuamisnopeus  $V$  on 500m/min, ominaislastuamisvoima  $k_c$  on alumiinille 500N/mm<sup>2</sup>, lastuamissyvyys on 1mm, syöttö on 0,15mm/r ja moottorin hyötysuhde on 0,8. Tästä saadaan laskettua moottorin tehon arvoksi kaavalla (3) yhteensä 781W. Tämä on vähimmäisarvo, joka pyöristetään ylöspäin esim. 800W toimivuuden varmistamiseksi [4].

Pienoissorvilla teräksen 1400N/mm<sup>2</sup> sorvaaminen samoilla arvoilla vaatisi moottorin tehoksi jo 2200W eli 3 kertaisen arvon alumiiniin verrattuna. Pienoissorveja käytetäänkin harvoin teräksen työstöön. Puun työstäminen taas on helpompaa kuin alumiinin ja vaatii

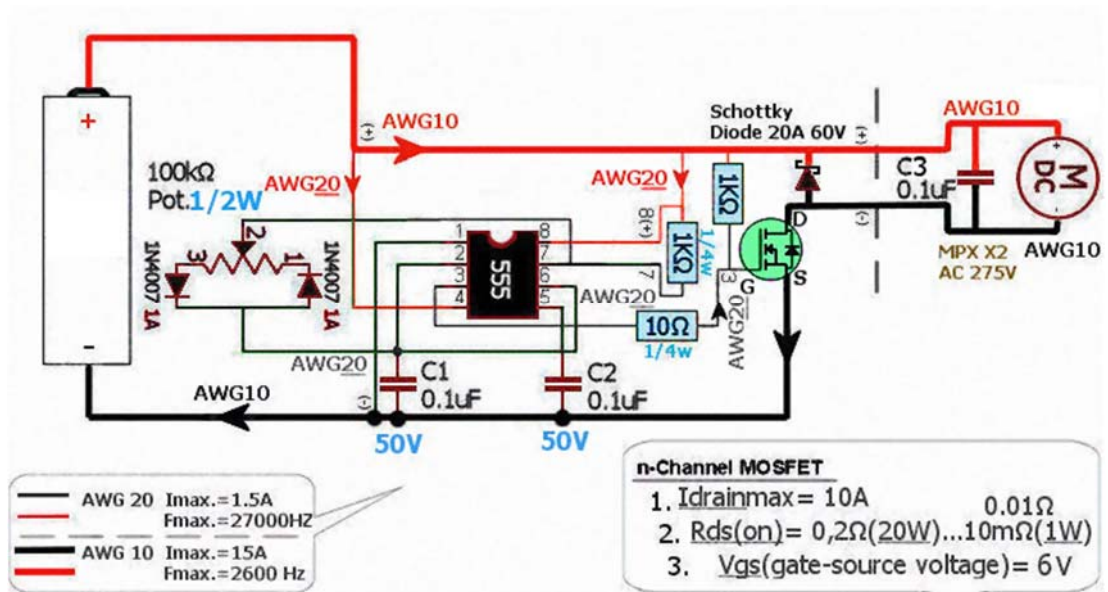
vielä vähemmän tehoa. Jos valitaan n.1000W moottori saa pienoissorvilla työstettyä jo hyvinkin monipuolisesti. Huomautuksena teho voi olla pienoissorveissa ilmoitettuna hevosvoimina, jonka yksikkönä on horsepower eli lyhennettynä [hp]. Tällöin 1 hevosvoima on muunnettuna 745W. Monissa aasialaisissa pienoissorveissa on 1/2hp eli 350W moottori, joka sekin riittää pieniin töihin. Vanhoissa Unimat-pienoissorveissa on vain n.100W moottori.

Moottoria valitessa pitää ottaa huomioon IEC 60034-1 (engl. International electrotechnical commission) standardin mukainen käyttötapa, joita ovat esim. S1, S2, S3 jne. S1 on jatkuva käyttö, joka on yleisin näistä. Käyttötapa määrittää kuormituksen sallitun kestoajan, jottei moottori pääse kuumenemaan liikaa. Usein tätä arvoa ei ole ilmoitettu ja vastuu lämmön tarkistamisesta on käyttäjällä. Kun lämpö nousee liikaa on moottori sammutettava ja antava jäähtyä [49].

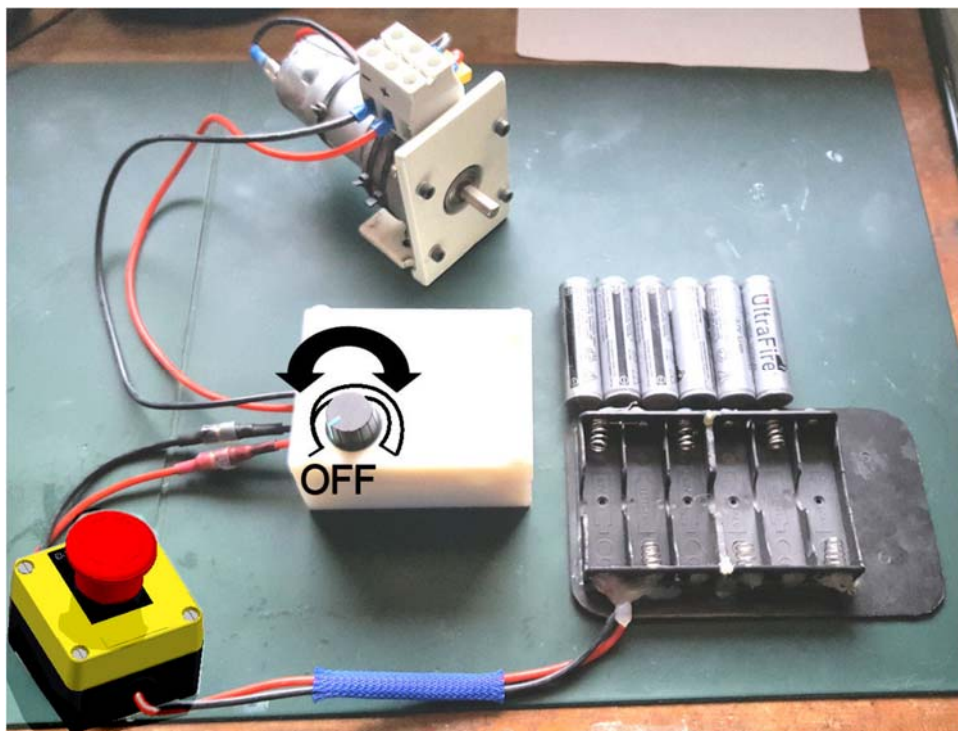
Tehon  $P$ , pyörimisnopeuden  $n$  ja käyttötavan  $S$  lisäksi tarkistetaan moottorin jännite, jonka tunnus on  $U$  [V] sekä virta, jonka tunnus on  $I$  [A]. Näitä arvoja kutsutaan moottorin nimellisarvoiksi ja ne näkyvät yleensä moottorin kyljessä olevasta arvotaulukosta, joka on tulostetun tarran tai painetun ohutlevyn muodossa.

#### 4.9.5 Tasavirtamoottori

Tasavirtamoottori on pienoissorveissa yleisin vaihtoehto. Se on edullinen, turvallinen, helposti saatavissa ja sen tehoa voi säätää portaattomasti yksinkertaisin tavoin. Tasavirtamoottorin nopeudensäätö perustuu siihen syötetyn jännitteen  $U$  muuttamiseen. Yksinkertaisimmillaan tämän voi tehdä pelkän säädettävä vastuksen eli potentiometrin avulla, joka tosin ei ole käytännöllinen, sillä sen hyötysuhde on huono. Alla kuvassa 98 on kuvattu esimerkkinä itsetehty tehokkaampi ja hyötysuhteeltaan parempi DC-moottorin tehonsäädön piirikaavio MOSFET-transistorilla (engl. metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) ja 555 ajastinpiirillä toteutettuna. Tässä valittu MOSFET NEC K2498 rajoittaa syöttöjännitteen alle 60V ja virran alle 50A, mutta kuvan valittu johtokoko tosin kestää vain 15A. Jännitteen tason valinta tehdään yleensä pyöritettävällä nupilla, joka on yhteydessä aiemmin mainittuun potentiometriin. Vastaavanlaista tehonsäädintä ei kuitenkaan tarvitse itse tehdä vaan niitä pystyy ostamaan valmiina erittäin halvalla. Kuvassa 99 ovat esillä johtoliitännät jännitelähteen, tehonsäätimen ja DC-moottorin välillä. Kaikki nämä tehonsäädön vaatimat elektronikat mahtuvat näin hyvinkin pieneen ja kevyeen kokoon sekä lisäksi jännitelähdettä esim. akkua pystyy kuljettamaan mukana toisin kuin pistorasiaa. Pistorasiaan DC-moottoria kytkettäessä tarvitaan erillinen AC-DC-muuntaja tai säädettävä virtalähde, joka sisältää jo sisäänrakennetun muuntajan. Tasasähkömoottorit sopivat helppouden vuoksi siis aloittelijallekin mainiosti ja monet pienoissorvit ovatkin varustettuja juuri niillä. Usein kiinalaiset DC-moottorit ovat sarjakäämittyjä, jolloin niiden vääntömomentti laskee jännitteen laskiessa, tähän auttaa erillismagnetoidun DC-moottorin valitseminen, jolloin momentti pysyy samana, vaikka jännite laskisi [50,51,52].



Kuva 98. Tasavirtamoottorin tyypillinen tehonsäätö pulssinleveysmodulaatiolla.



Kuva 99. Tasavirtamoottori liitettyä tehonsäätimeen ja 24V jännitelähteeseen.

#### 4.9.6 Vaihtovirtamoottori

AC-moottoreita on olemassa 1- ja 3-vaiheisia, 1-vaiheisen saa kytkettyä suoraan pistokkeella kodin 230V sähköverkkoon, kun taas 3-vaiheinen tarvitsee väliin erillisen muuntajan tai 3-vaiheisen sisääntulon. Näistä 3-vaiheinen tuottaa paremman pinnanlaadun sen tasaisemman toimintaperiaatteen takia [52].



Vaihtovirtamoottorin portaaton tehonsäätölaitteisto on kallis ja monimutkainen asiaan perehtymättömälle. Se vaatii taajuusmuuttajaa, jonka käyttöjärjestelmää pitää usein osata ammattitaitoisesti käyttää. Karkeat kustannukset uutena ostetulle AC-moottorille ovat n.100-300e luokassa ja taajuusmuuttajalle alkaen n.200e. Hintaa kertyen yhteensä n.500e. Taajuusmuuttajista kannattaa valita 1-vaiheisen sisääntulon sallivan ja 3-vaiheisen ulostulon antavan mallin 3-vaihemoottorille, jolloin taajuusmuuttajan voi kytkeä 230V verkkovirtaan pistokkeella. Mallina tämän tyyppisestä yhdistelmästä on kuvassa 100 oleva ABB:n (Asea Brown Boveri) ACS150 taajuusmuuttaja [14,53].



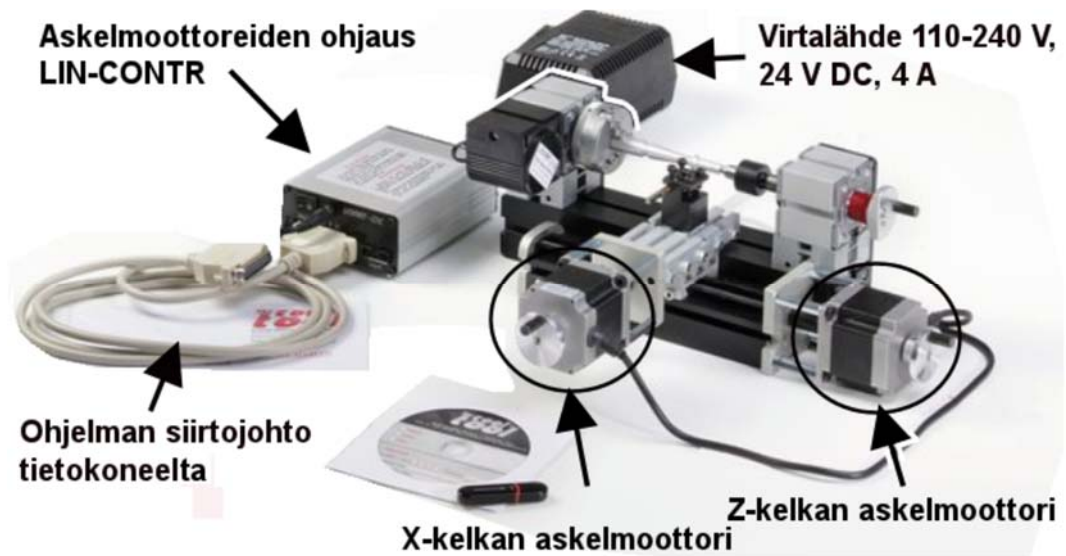
**Kuva 100. ABB:n pienjännitetaajuusmuuttaja ACS150 liityntöineen perustuu lähteeseen [53].**

Hinnan takia ostetaankin usein vain pelkästään AC-moottori, joka pyörii tietyllä vakionopeudella ja tätä nopeutta muutetaan sitten mekaanisesti, joko porrastetuilla hihnapyörillä tai hammasratasvaihteistolla. Aloittelijalle pelkkä 1-vaiheinen moottori käy helppokäyttöisyyden vuoksi hyvin, sen tunnistaa moottorin yhteydessä, joko rungon kyljessä tai liitinkotelon sisällä olevasta sylinterin muotoisesta kondensaattorista. Tällaisesta AC-moottorista lähteviin sähköjohtoihin voi siis asentaa suoraan perus pistokkeen, joka liitetään 230V verkkovirtaan.

#### 4.9.7 Numeerisen ohjauksen ja digitaalisen mittalaitteen lisäys

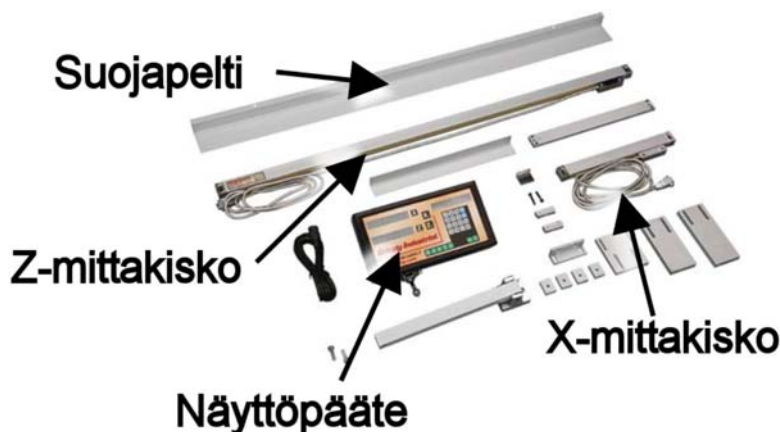
Tämän työn pienoissorvissa tarkoituksena on suunnitella manuaalinen käsin liikuteltava pienoissorvi. Tässä osiossa esittelemme kuinka sen voi muuttaa numeerisesti ohjatuksi, eli englanniksi computerized numerical control, lyhennettynä CNC. Numeerisen ohjauksen mahdollistamiseksi täytyy Z- ja X-akseleille lisätä omat askelmoottorit, jotka ovat harjattomia DC-moottoreita ja jos haluaa voi kärkipylkällekin asentaa yhden askelmoottorin. Näitä askelmoottoreita ohjaa ohjausjärjestelmä, jonka muistiin voi tuoda tietokoneella tehdyn työohjelman. Ohjauspiiri syöttää moottorille ohjelmatiedon, kuinka ja mihin suuntaan moottoria pyöritetään, jotta kelkka liikkuisi tarvittavan matkan. Kustannuksia tällaiselle elektroniikka järjestelmälle, 3 askelmoottorille ja sen virtalähteelle kertyy karkeasti n.500e lähtien. Kuvassa 101 on malliksi vastaavanlainen CNC-lisäyspaketti kiinnitettynä 2016-vuoden Unimat-pienoissorviin, vaikka kyseessä onkin vain yhteen

merkkiin räätälöity paketti ovat CNC:ssä tarvittavat komponentit ja niiden asennustavat hyvin samankaltaisia muissakin sorveissa [54,55].



**Kuva 101.** The Cool Tool GmbH yrityksen Unimat:lle räätälöity CNC-lisäyspaketti [55].

Kuvassa 102 esillä olevaa aitoa digitaalista mittalaitepakettia eli DRO:ta lisättäessä täytyy tuoda esiin taas järjestelmän kalleus, koska kyseessä on tarkkuusmittalaite. Se kun maksaa karkeasti alimmillaankin Kiinassa valmistettuna alkaen n.200e nousten siitä siten ylöspäin halutun näyttötarkkuuden ja pituuden mukaan todella korkeaksi. Paketti sisältää kahdet elektroniset mittakiskot X- ja Z-akseleille sekä lukulaitteen näyttöpäätteen. Tähän on kuitenkin olemassa kuvassa 103 näkyvä edullisempikin vaihtoehto, kuten ostamalla akseleille kiinalaisia digitaalisia työntömittoja, joiden saatavilla olevat pituudet ovat mm.100, 150, 300 ja 500mm. Työntömitat muokataan edelleen niin, että ne liikkuvat kelkkojen mukana ja näyttävät siten X- ja Z-koordinaatit [56,57].



**Kuva 102.** Aito digitaalinen mittalaitepaketti hinta 1200e valmistuttaja Grizzly Industrial Inc. perustuu lähteeseen [57].



**Kuva 103. Digitaaliset työntömitat asennettuna kelkkojen liikkeen mittaukseen perustuu lähteeseen [56].**

Yhteenvetona moottoroimisessa kannattaa miettiä kokonaissumma, jonka haluaa enintään pienoissorvinsa sähköistämisestä maksaa. Tässä osiossa oli malliksi esillä kaikki hienoudet kuten taajuusmuuttajaohjatut AC-moottorit n.500e, CNC-ohjaus n.500e, DRO-laitteisto n.200e, ylikuormitus anturit tai turvakytkimet n.100e tullen halvimmillaankin alkaen n.1300e yhteishintaan. Kun vastakohtana voi ostaa pelkän AC-moottorin n.100-200e, vaihtaa mekaanisesti nopeutta ja käsipyörillä liikuttaa manuaalisesti kelkkoja, käyttäen muokattuja työntömittoja X- ja Z-paikanlukuun. Tarkkoja valintoja ei siis sähkölaitteille voi tässä tehdä, sillä ne riippuvat käyttäjän mieltymyksistä, turvallisuusominaisuuksista, saatavuudesta ja budjetista. Ainoastaan tehon P laskenta on ainut ohjenuora millä voi lähteä valitsemaan itselle sopivaa sähköistystä sorviin.

## 4.10 Sorvin käyttöönotto ja testaus

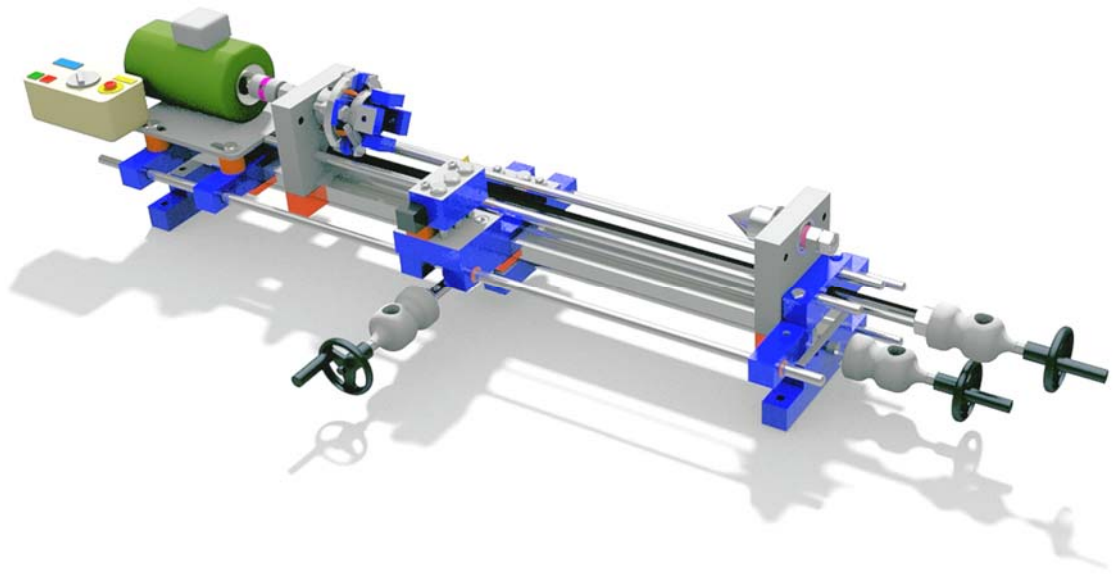
Tässä osiossa esitellään valmis manuaali pienoissorvi ilman sähköistyksiä. Keskittyen mekaaniseen käyttöön ja laitteiston tarkastamiseen. Itse työstöön on useita hyviä kirjoja kuten puusorvaukseen lähde [58], jossa esitellään käytännönläheisesti vaihe vaiheelta valmiin kappaleen muodostuminen aihioista.

### 4.10.1 Valmiin sorvin katsaus

Nyt kun valmis sorvi kokonaisuus kuvassa 104 on saatu aikaiseksi, on tarkasteltava sen lopullista laatua. 3D-suunnittelu antaa viitoituksen muodoille, mutta vasta koneistuksen laatu ja asennusammattitaito antavat kokoonpantavalle tuotteelle keksijän ideoiman ja käyttäjän odottaman toimivuuden. Parhaimmillaan nämä odotukset voidaan jopa ylittää tuomalla tuotteeseen parannuksia ja tuotekehityksiä käytännön kokemuksen myötä. Moniosaiset koneet kuten sorvi on oiva esimerkki siitä kuinka huonolla asennuksella voi olla tuhoiset seuraukset valmiille kokoonpanolle. Valmiissa kokoonpanossa on koneistettavia



osia n.40kpl, 3kpl kierretankoja, 5kpl johdintankoja, 31kpl pultteja ja 31kpl muttereita. Kokonaispaino pienoissorville on n.30kg.



**Kuva 104. Valmis pienoissorvi 3D-mallinnettuna ideaalimaailmassa.**

Kuvia oikean maailman asennustilanteesta olen lisännyt kaksi eli kuvat 105 ja 106, jotta näkyisi valmiin pienoissorvin yleisilme paremmin ja realistisemmin. Asennuksessa kohdasivat ideaalimaailman suunnitelma ja reaaliaikailman toteutus. Kuten mm. asennusjärjestys, pulttien kiristys oikeaan momenttiin, välyksien asettaminen, ostettavien kierretankojen suoruuden varmistus, johteiden varovainen asennus ja liukuvuuden varmistus, korotettavien osien hienosäätö, viilaus, hiominen, usean eri kilo- ja erikoispultin ostaminen, ruosteenesto sekä runsas rasvaus.



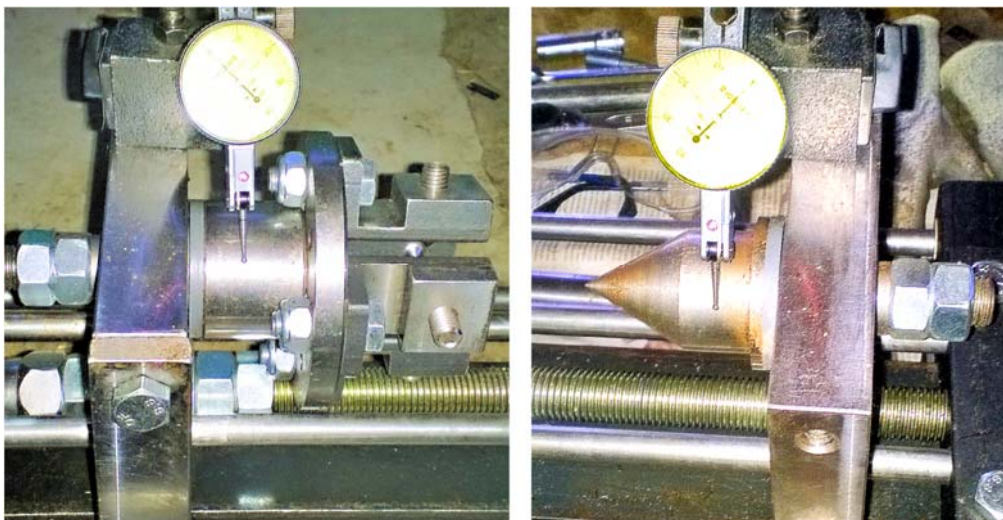
**Kuva 105. Valmiin sorvin asennustilanne reaaliaikailmassa 1.**



**Kuva 106. Valmiin sorvin asennustilanne reaaliaikailmassa 2.**

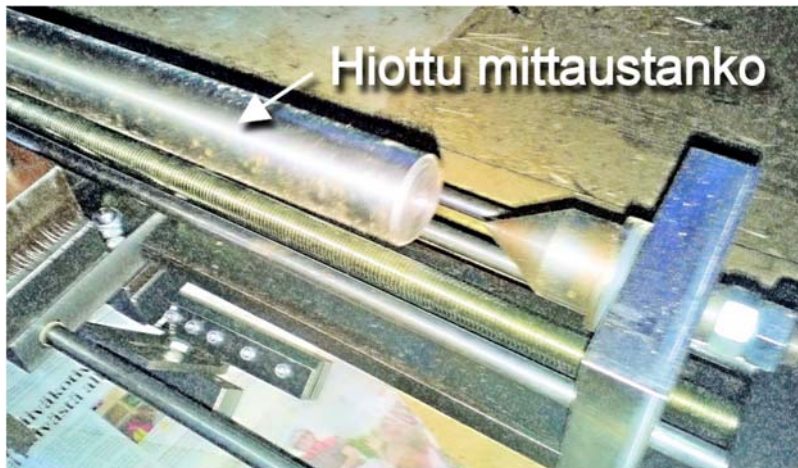
#### **4.10.1 Heiton tarkistaminen**

Sorvin lopullisen heiton tarkastaminen mittakellolla osoittaa hyvin kuinka laadukas sorvi on. Tämä toteutetaan kuvassa 107 kara- ja kärkipylkän yksittäisen heiton tarkistamisella mittakellolla, joka on kiinni magneettipohjastaan esim. laakeripukin päällä. Tämä heitto mitattiin  $n. \pm 0,05\text{mm}$  joka on hyvin pieni heitto. Lopuksi voi varmistaa sorvin napojen keskinäisen suoruuden laittamalla niiden väliin kiinni kuvan 108 hiotun mittaustangon ja mittaamalla, että tangon heitto ei muutu edellisistä tuloksista.



**Kuva 107. Pylkkien heiton tarkistaminen mittakellolla. Heitto  $n. \pm 0,05\text{mm}$ .**





**Kuva 108.** Napojen väliin laitettava hiottu tanko suorutta mittaamaan.

#### 4.10.2 Kappaleen kiinnittäminen

Puuaihiota kiinnitettäessä ei aihiota saisi lyödä voimalla sorvissa kiinni olevaan karapylkkään, koska laakerien rullat ja kuulat kärsisivät tästä lyönnistä. Puuaihioon kannattaakin tehdä alkukeskitysreiät kuten metalliaihioissa on tapana. Näitä tehtäessä voi käyttää lyöntimuottia, jossa toistuu karapylkän 5-9 piikkiä samalla etäisyydellä. Tässä käytetään kuten kuvassa 109 toista irrallaan olevaan karapylkkää tai pöytää, johon on kiinnitetty piikit. Apuna voi käyttää myös esim. terävää neliötaltoa koville puulajeille. Lyöntimuotilla lyödään puuaihioon mahdollisimman kohtisuorassa olevat helpotus alkureiät oikeille piikeille ja kärkipylkän M20 johtoruuvilla puristetaan puuaihio kiinni sorviin näiden alkureikien varaan, jotka sitten laajenevat ja lukitsevat aihion luonnollisen puristuksen voimasta. Hento napautus on ok, jos puuaihio ei asetu sorviin kunnolla.

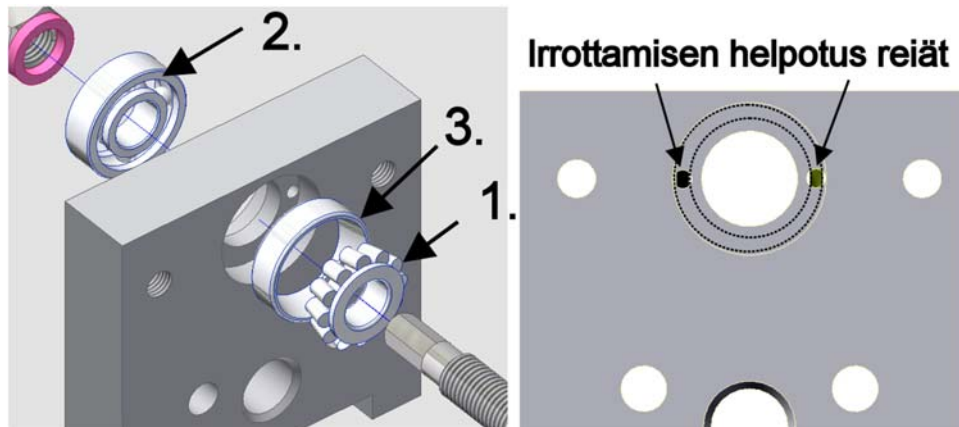


**Kuva 109.** Alkureikien teko puuaihioon.

### 4.10.3 Rasvaus ja huolto

Huoltaminen pienoissorvilla koostuu ohuen öljyn lisäämisestä rungon tasojohteeseen ja johdinkiskoihin sekä pienen rasvamäärän laittamisesta kierretankoihin. Ohut öljy sopii paremmin sorville, koska paksuun ja tahmeaan rasvaan tarttuu helpommin lastut ja lika. Suositeltavia voiteluaineita ovat ohuet moottoriöljyt ja puhdas litiumrasva. Lisäaineistettuja voiteluaineita ei suositella, koska mitä enemmän lisäaineita niissä esiintyy sen myrkyllisempiä ne usein ovat ja sitä enemmän tuotevaroitukset lisääntyvät purkeissa.

Laakerit kestävät pitkän käyttöiän ja ovat huoltovapaita oikein kuormitettuna sekä laakeripukin sisään asennusvaiheessa laitettua laakerirasvaa ei tarvitse lisätä, ellei pylkkää tai kartiorullalaakeria vaihdeta uuteen. Laakerien vaihtaminen onnistuu kuvan 110 järjestyksessä 1. poistamalla ensin irrallisen kartiorullalaakerin sisäosan, sitten 2. painamalla kuu-  
lalaakeri laakeripesästä ulos ja 3. sen alta paljastuvista helpotus rei'istä saa painettua lopulta kartiorullalaakerin ulkokehän pois laakeripesästä.



**Kuva 110. Laakerien irrottamisjärjestys vaihtoa varten.**

## 5. JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätös osiossa teemme katsauksen kustannuksiin, joita aiheutuivat sorvin tekemisestä ja pienoissorvin soveltuvuuteen sen aiottuun käyttötarkoitukseen.

### 5.1 Kustannukset

Työssä tehdyn pienoissorvin osien koneistamiseen käytettiin n.320h, eli yhtäjaksoisesti valmistukseen kului n.14pv. Suunnitteluun kului vähemmän n.5pv ja asentamiseen n.2pv. Uutena konseptina toteutettuun työhön meni yhteensä siis 21pv. Työtunteja ei kustannuksiin sisällytetä, koska työssä ei pyritty tuottavuuteen tai työn tehokkuuteen. Myös muita pienempi arvoisia ostoksia kuten esim. muoviosia tai muovilaakereita ei ole pienen hintansa takia sisällytetty kustannuksiin.

Teräksen yhteispainoa sorville muodostui n.30kg. Seuraavassa on eriteltynä koneistetut teräsaihiot ja kustannukset niille. Huomautuksena monet pienoissorvin aihiot ovat pienistä hukkapaloista koneistettu ja lähdehinnat ovat muodostettu vain malliksi internetkaupasta, josta yksityishenkilötkin voivat tilata kyseisiä tankoja. Nämä hinnat ovat siis vain karkeita kuluttajahintoja, joissa on arvonlisävero eli tangot ovat kalliimpia kuin jos tilaisi esim. isompia määriä terästukkukauppiailta tai ostaisi sahatuista palkeista muodostuneita hukkapaloja tai päätypaloja. Tämä kustannus antaa kuitenkin arvion mitä lähellä rakenteiden hinta tulisi olemaan. Terästankoihin S355 taulukossa 3 kului 1kpl 80x20x900mm runkoaihiot, 2kpl 120x120x30mm laakeripukin aihiot, 1kpl 90x30x80mm X-kelkan aihiot, 1kpl 40x45x80mm teränpitimen aihiot, 30x12mm lattatankoa kului n.1200mm, 30x30mm neliötankoa kului n.2700mm ja 1kpl 80x40x60mm L-raudan pala paksuutena 6mm. Pyörötankoa kului Ø50x700mm karoille ja sorminupeille sekä pöydille Ø100x30mm. Teräsrakenteisiin kuluu siis karkeasti yhteensä n.100e mukana alv. Tätä hintaa saa kuitenkin laskettua ostamalla isompia määriä, hukkapaloja tai halvemmalla jälleenmyyjältä. Tarvittavat aihiot kun ovat pieniä kooltaan.

**Taulukko 3. Pienoissorvin S355 teräsaihioiden karkeat hinnat [59].**

	Profiili	Poikkileikkaus	Pituus m	Metrihinta	Kustannus
Runko	Lattatanko	80x20	0,9	21	19
Laakeripukit	Lattatanko	120x30	0,25	51	13
X-kelkka	Lattatanko	90x30	0,08	41	3
Teränpidin	Neliötanko	45x45	0,08	35	3
Osia	Lattatanko	30x12	1,2	7	8
Osia	Neliötanko	30x30	2,7	15	41
Taltantuki	L-rauta/Kulmatanko	80x40 paksuus 6	0,06	11	1
Kara,Sorminuppi	Pyörötanko	Ø50	0,7	25	18
Pöydät	Pyörötanko	Ø100	0,03	99	3
				Yhteensä	<b>108</b>

Laakereihin kustannuksia kertyi 2kpl kartiorullalaakerille SKF 30203 12e/kpl ja 2kpl kuulalaakerille NSK 6203-2RS 7e/kpl eli yhteensä 38e [60,61].

Johteisiin kului 5kpl Ø12x1000mm 115CrV3 pyörötankoa n.15e/m eli yhteensä 75e. Nämä voi korvata halvemmalla vaihtoehdolla eli kirkkaaksi vedetyillä S355 tangoilla, jolloin hinta tippuisi 2e/m eli yhteensä 10e. Tämänkin hinta on hyvin vaihteleva ja vastaavan ominaisuuden tankoja voi löytää hyvinkin halvalla riippuen tarjonnasta [59,62].

Tavallisiin kilopultteihin ja -muttereihin sekä erikoispultteihin kului arviolta yhteensä 10e, kilohinta rautakaupoissa on n.6e/kg.

Kierretankoja 1000mm kului 1kpl M20x2,5 hinta 14e/1m, 2kpl M16x2 hinta 9e/1m eli kaikki yhteensä 32e [63].

Yhteensä pienoissorville tuli kustannuksia  $100+38+10+10+32=190\text{e}$  eli n.200e. Yhteiskustannukset saa hintatietoisille harrastajille varmasti alhaisemmaksi hintavertailulla, alv:n poistolla, alennuksilla ja keskittämällä ostoksia, puhumatta sen tuottamisesta halvan tuotannon maissa, tällöin kokonaishinta pienoissorvin materiaaleille kulkee lopulta n.100-200e välillä riippuen ostopaikoista. Tähän lisättäisiin koneistustyön vaatimat resurssit, jos myyntihintaa tuotteelle oltaisiin laskemassa, mutta tässä tuotteen ollessa prototyyppi työkustannusten lisääminen ei olisi perusteltua.

## 5.2 Vertailu muihin pienoissorveihin

Pienoissorveja on valmistettu aikojen saatossa usean valmistajan toimesta. Monet merkeistä ovat kuitenkin jääneet historiaan. Tämän takia useiden vanhojen pienoissorvien ominaisuudet ja mitat ovat tuntemattomia, ellei omista juuri kyseistä sorvimallia. Tässä osiossa keskitytäänkin vertailemaan työssä suunniteltua pienoissorvia markkinoilla oleviin malleihin, joiden tiedot ovat saatavilla. Poikkeuksena on 1960-luvun SL1000, jota esiintyy laajasti käytettynä. Taulukkoon 4 on kerätty 5 eri pienoissorvin moottoritiedot, maksimi aihion mitat ja sorvin fyysiset mitat. Tuloksena vertailusta syntyi, että tässä kokuoluokassa teho vaihtelee 1/8-3/4hp eli 100-560W välillä. Aihion halkaisija on Ø50-100mm ja pituus alle 500mm. Ulkomitat ovat korkeutena alle 300mm, leveytenä alle 400mm ja pituutena alle 1000mm. Pienoissorvien kokonaispaino sijoittuu välille 10-45kg. Näin työssä suunniteltu malli suoriutuu vertailussa hyvin.

**Taulukko 4. Pienoissorvien ominaisuuksia vertailutaulukkona [64,65,66,67,68].**

	Moottorin tiedot	Maksimi aihio mm		Sorvin fyysiset mitat mm,kg			
		Halkaisija	Pituus	Korkeus	Leveys	Pituus	Paino
<b>Työn pienoissorvi</b>	-	<b>100</b>	<b>500</b>	<b>205</b>	<b>230</b>	<b>900</b>	<b>30</b>
Unimat SL1000 / DB200 [64]	DC 1/8hp	70	170	120	120	400	10
Unimat ML(laajennus) [65]	DC 12V,2A(5A)	56(100)	90(300)	100	100	271(460)	6(10)
Sherline 4400(laajennus) [66]	DC 1/4hp(1/2hp)	90	430	216	267	826	13
Grizzly G8688 [67]	AC 3/4hp	100	305	305	280	700	34
Proxxon PD 400 [68]	AC 3/4hp	100	400	300	400	900	45

Vertailussa pienoissorvien toimintoihin ja käyttöön ei kantaa voinut ottaa, koska oma-kohtaista kokemusta kyseisten valmistajien pienoissorveista ei ole. Kuten sorvien tarkkuuden kohdalla, joka annettiin monella valmistajilla usein 0,05mm luokkaan, mutta se päästäänkö tähän työstössä oikeasti on eri asia. Moni valmistaja tarjoaa myös laajennuspaketteja vakiosorvin moottorin tehon ja rungon pituuden kasvattamiseen. Näitä on joillakin valmistajilla tarjolla huomattavan suurikin määrä kuten The Cool Tool GmbH:lla. Eri laajennukset pystyvät muuttamaan sorvia paljonkin verrattuna vakiovarusteiseen. Uusien pienoissorvien hintataso on karkeasti 600-1600e välillä. Niiden hinnat eivät ole keskenään vertailukelpoisia, koska monet aasialaisvalmisteiset pienoissorvit tuotetaan huomattavasti halvemmilla tuotantokustannuksilla kuin kokonaan vaikka Euroopassa tai Amerikassa valmistetut.

### 5.3 Soveltuvuus

Työhön varatussa ajassa ei pienoissorvin motorisointi ehtinyt valmistua. Eli sopivan moottorin löytäminen ja liittäminen jäivät reaaliaikailmassa kesken. Sen takia pienoissorvilla tehtävää työstöä ei pystytäkään tässä havainnollistamaan käytännönläheisellä tavalla ja se on jätetty pois.

Pyörähdyskappaleiden työstön monipuolisena ja tehokkaana, mutta samalla myös pienenä ja tukevana työvälineenä työn pienoissorvi toteutui mallikkaasti. Huolella tehty yksityiskohdat, joiden lopullinen toteutus mietittiin moneen kertaan mahdollistavat laajat ja yleismaailmalliset Ø10mm pulttiliitännät, joita ei ole rajoitettu valukappaleilla tai hitsatuilla rakenteilla. Alussa mietityksi maksimiaiheen halkaisijaksi toteutui puulle piikkivääntiöön sijoitettuna Ø100mm ja alumiinille 4-leukapöytään sijoitettuna n. Ø50mm sekä karkivälin kautta maksimi aihionpituus on sorville n.500mm.

Manuaalisena käsin ohjattavana ja vaihteettomana pienoissorvin edustajana työn sorvi pystyy tekemään sekä puuntyöstön, että alumiinityöstön samalla koneella vaihtamalla vain yhtä osaa, joko taltantueksi tai teränpitimeksi. Tähän vaihtoon harva tehdasvalmistettu sorvi pystyy ja tämä osa sinetöihin sorvin, joko puusorviksi tai metallisorviksi. Modulaarisuuden takia työn sorvi on molempia ilman rajoituksia, jolloin ei tarvitse ostaa kahta eri sorvia erikseen.

Kustannustehokkuus ja kiistaton laatu ns. ykkösluokan laatu, ilman saman liikestrategian omaavia kilpailevia valmistajia johdattaisi työn mallin mahdollisimman laajan harrastajan omaksi. Työn toiveena on toisaalta tietyn perusmallin luonti pienoissorville, josta muodostuisi tulevaisuudessa dominanttimalli. Useat yritykset panostavat nykyään monissa tuotteissa vain rajoittuneisiin, epälaadukkaisiin ja pitkällä aikavälillä heikkoihin rakenteisiin pyrkien vain kustannusjohtajiksi. Tämä tapahtuu harmillisesti käyttäjien huonontuvan tuotekokemuksen kustannuksella. Innoituksena pitkäikäisten tuotteiden tekemiselle on itselle toiminut muun muassa Saksan demokraattisen tasavallan eli Itä-Saksan



1950-1990-luvuilla valmistamat useat pitkäkestoiset mekaaniset ja sähköiset tuotteet kuten lamput, joululampot, jääkaapit, hellat, leivänpaahdit, tarkkuusva'at ja mikroskoopit.

Työn täysin sähköistettävissä olevaa pienoissorvia, jossa johtoruuveilla ohjataan sen joista liikerataa, mukaan lukien kärkipylkkää voi tulevaisuudessa soveltaa siihen yhdistettyä automaatiota ja robotiikkaa. Näin pienoissorvi olisi täysin yhteensopivana muokattavissa jopa tehokkaaseen miehittämättömään sorvaukseen.

Materiaalikustannukset eivät olleet yhteenlaskettuna länsimaissa valmistettuna kuin n.100-200e luokkaa. Pienoissorvit maksavat yleensä n.300-1200e, jonka hintahaarukan alkuun myös työn pienoissorvi tähtää. Kunnolla tuotteistettuna ja oikeilla valmistusvirroilla kustannuksia saadaan helposti alas.

Monipuolisena työvälineenä työn pienoissorvilla on paikkansa ja siihen voi liittää mm. tarvitsemiansa lisäosia tai eri kokoisia teränvarsia työstön mukaan. Työn alkutavoitteet toteutuivat ja tulokseksi saatiin pienikokoinen sorvi, joka painoltaan n.30kg on kyllin jyrkevä pysyäkseen paikoillaan itsenäisenäkin ilman pöytään kiinnittämistä ja samalla se on kuitenkin myös kannettavissa oleva. Siten se soveltuu kuljetettavaksikin ja sitä voi viedä mukana syrjäisillekin paikoille tasavirtamoottorin ja akun avulla ilman, että sitä tarvitsee pysyvästi asentaa tiettyyn verkkovirta paikkaan.

## 6. JATKOKEHITTÄMISIDEAT

Tässä työssä keskityttiin edullisuuteen. Tulevaisuudessa työtä voisi jonkun toimesta kehittää niin, että aloitetaan kalleimmista ratkaisuista. Näin tutkittaisiin pienoissorvia, joka olisi paras ilman kustannusten miettimistä. Näitä olisivat näkyvimmin mm. sähköistämisen tuomat edut kuten CNC:n toteuttaminen, taajuusmuuttajaohjaus ja muiden kalliiden ratkaisujen liittäminen sorviin.

Rungon johdemuotojen optimaalisen yhdistelmän tutkiminen ja minimikitkan aikaansaaaminen kelkoille matematiikan, fysiikan, materiaalivalintojen ja simulointien avulla on myös yksi iso kohde kehitykselle.

Mekaaniset rasituskokeet ja lujuuslaskennat kuten karan maksimiväännön kokeilu olisi oiva toteutuskelpoinen idea, jotta rakenteiden lujuudet voisi merkitä tarkemmin ja korostaa tiettyjä piirteitä entisestään. Myös karan laakereiden rasitusta voisi mitata tarkemmin esim. painavan teräskappaleen pyöriessä siinä.

Sorvin täyttäminen konedirektiivin mukaiseksi ja siihen liittyen vaatimuksenmukaisuusvakuutuksen tekeminen on myös kehitysideana. Suojarakenteiden suunnittelu CNC-koneeseen, eli sorvin koteloiminen ja muidenkin sähköisten sekä mekaanisten turvavälineiden tarkka kokonaissuunnittelu olisi tarpeen mm. jarrun kehitys sorville sekä viisaan anturijärjestelmän asennus karan jumiutumisen eli ylikuormituksen varalle, joka kytkisi sähkön pois moottorista, kun kara jää kiinni.

Pienoissorvin tuotteistamista ja talouspuolta voi täydentää laskemalla moottorisoidulle ja valmiille kaupassa myytävälle pakettituotteelle sopiva myyntihinta katteineen. Näin kannattavuuslaskennat ja myyntipuoli tulisivat lisäksi.

Lukuisia muitakin kehitysideoita esiintyy, mutta ne liittyvät osaltaan tuotteen kalliimmaksi tekemiseen, jolloin samalla asiakaskuntakin pienentyisi ja kone ei olisi enää jokaisen saatavilla. Mikä olisi siis tämän työn päätavoitteen vastainen.

## 7. YHTEENVETO

Tutkielman tuloksena suunniteltiin ja valmistettiin koneistamalla n.40 osasta muodostuva alle 1000W omavalmiste pienoissorvi, jota pystyy teholtaan käyttämään puu, muovi ja alumiini aihion työstöön joko puutaltoja tai teränvarsia käyttämällä. Tavoitteina sorvin rakenteelle oli edullisuus, pienenus, tukevuus, laatu, huollettavuus ja sitä kautta pitkä elinkaari. Maksimi aihion koko asetettiin halkaisijaltaan Ø100mm ja pituudeltaan 500mm, joita myötäillen sorvi rakennettiin. Työssä käytiin läpi alussa sorvin historiaa, olemassa olevia sorvityyppejä, niiden ominaisrakenteita ja eroja. Työ rajattiin käsittämään materiaalivalinnoiltaan vain koneistettuja S355 teräsaihioita, joita liitetään toisiinsa M10 pultti-kiinnikkeillä.

Mekaanisia perusteita kuten geometrisia toleransseja, tarkkuuksia ja pinnankarheuksia käytiin läpi, jotta työssä esitettyjä valmistuspiirustuksia olisi helpompi tulkita. Työssä on esillä mahdollisimman helposti ja visuaalisesti kaikki työn pienoissorvin valmistamiseksi tarvittavat mittapiirustukset, aihiot ja ostettavat vakio-osat, jotta vaikka koneistuksen opiskelija tai innokas harrastaja pystyisi sen helposti tekemään itsenäisesti.

Useita sorviin liittyviä aiheita on koottu yhteen kuten siihen kytkettäviä eri voimanlähteitä, tarvittavaa tehonlaskentaa, johtoruuvien mekanismeja, johteita, runkoja, itse sorvaamisen perusteita ja terävalikoimaa puulle sekä metallille käytiin läpi työssä mahdollisimman laajasti turvallisuutta unohtamatta. Alueeseen liittyvien eri standardien esittely tuo lisäksi viranomaisnäkökulmaa.

Työssä saatiin suunniteltua ja valmistettua pienoissorvi, joka täyttää vaatimuksensa sekä toimii työssä esitellyn tavan mukaan. Tarkoituksena oli luoda uusi suuntaa näyttävä malli monipuoliselle pienoissorville, joka pystyy tekemään mahdollisimman paljon pieneen ja kannettavaan kokoon mahdutettuna. Kokoa sorville tuli pituutena 900mm, leveytenä 230mm, korkeutena 205mm ja painona n.30kg. Sorville laskettiin materiaalikustannuksiksi n.100-200e, jos materiaalin ostaisi Suomesta.

Jatkokehittämisen toimenpiteitä esitettiin työn lopussa, jotta työssä saatua edullista pienoissorvia pystyisi jatkossa kehittämään yhä parempaan, mutta toisaalta hinnaltaan kilpailuun malliin.

Omakustanteisena tuotekehityksenä suunniteltu ja tuotettu pienoissorvi on vähän tilaa vievä laadukas valinta, joka on todella vankka rakenteinen. Käytössä sorvi antaa laadukasta työstöä ja pystyy kilpailemaan vastaavien pienoissorvivalmistajien kanssa tilaa säästävillä rakenteellisilla innovaatioillaan.

## LÄHTEET

- [1] David J. Gingery, Build your Own Metal Working Shop from Scratch 2, The Metal Lathe, David J. Gingery Publishing LLC, USA, 1980, p.130.
- [2] Raymond Francis Yates, Lathe Work for Beginners, the Noman W. Henley Publishing Company, USA, 1922, p.286.
- [3] Oscar E. Perrigo, Lathe Design Construction and Operation with Practical Examples of Lathe work, Norman W. Henley publishing CO, USA, 1919, p.480.
- [4] Keijo Maaranen, Koneistus, Sanoma pro oy, Helsinki, 2012, s.492.
- [5] Joseph Wickham Roe, English and American Tool Builders, McGraw-Hill book company Inc., USA, 1916, p.416.
- [6] Rybczynski Witold, One Good Turn: A Natural History of the Screwdriver and the Screw, Scribner, USA, 2000, p.176.
- [7] Dan Eyring, Flather Model 14 Engine Lathe, verkkosivu saatavissa (viitattu 9.2.2017) <https://www.charlesrivermuseum.org/flather-model-14-engine-lathe/>
- [8] Randy Roeder, Millers Falls Treadle Tools: Saws, Lathes and Grindstones, verkkosivu saatavissa (viitattu 9.2.2017) <http://oldtoolheaven.com/treadle-tools/treadle-tools.htm>
- [9] Model T25920/T25926, Grizzly Industrial Inc, saatavissa (viitattu 11.2.2017) [http://cdn0.grizzly.com/manuals/t25926\\_m.pdf](http://cdn0.grizzly.com/manuals/t25926_m.pdf)
- [10] Tony Griffiths, Levin Lathes, verkkosivu saatavissa (viitattu 12.2.2017) <http://www.lathes.co.uk/levin/>
- [11] Tony Griffiths, Drummond A-Type 4-inch Round Bed Lathe, verkkosivu saatavissa (viitattu 12.2.2017) <http://www.lathes.co.uk/drummondroundbed/>
- [12] CL3 Professional 5 Speed Lathe, Record Power Ltd, saatavissa (viitattu 12.2.2017) [http://www.recordpower.co.uk/assets/products/product\\_downloads/prod\\_000941\\_download\\_file\\_41\\_1461670439.pdf](http://www.recordpower.co.uk/assets/products/product_downloads/prod_000941_download_file_41_1461670439.pdf)
- [13] The Missing Shop Manual Lathe, Skills institute press LLC, Fox Chapel Publishing Company Inc, USA, 2010, p.147.
- [14] Ernie Conover, The Lathe Book a Complete Guide to the Machine and its Accessories, The Taunton Press, USA, 2001, p.196.

- [15] Model G1067Z, Grizzly Industrial Inc, saatavissa (viitattu 11.2.2017)  
[http://cdn0.grizzly.com/manuals/g1067\\_m.pdf](http://cdn0.grizzly.com/manuals/g1067_m.pdf)
- [16] Sorvaustyövälineet, Opetushallitus, verkkosivu saatavissa (viitattu 12.2.2017)  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/kasityovaltainen\\_pienteollisuus/sorvaus/sorvaustyovalineet.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/kasityovaltainen_pienteollisuus/sorvaus/sorvaustyovalineet.html)
- [17] Model G0776, Grizzly Industrial Inc, saatavissa (viitattu 11.2.2017)  
[http://cdn1.grizzly.com/manuals/g0776\\_m.pdf](http://cdn1.grizzly.com/manuals/g0776_m.pdf)
- [18] American Turnmaster High Speed AT-1340-G, Republic Lagun Machine Tool Co., saatavissa (viitattu 14.2.2017) <https://10088-presscdn-0-66-pagely.netdna-ssl.com/core/uploads/Republic-Lagun-American-Turnmaster-Horizontal-Lathes.pdf>
- [19] Katja Fruhwald, Gerhard Schickhofer, Strength Grading of Hardwoods, Graz University of Technology, saatavissa (viitattu 16.2.2017) [http://support.sbcindustry.com/Archive/2004/jun/Paper\\_321.pdf](http://support.sbcindustry.com/Archive/2004/jun/Paper_321.pdf)
- [20] Järvinen Pasi, Uusi muovitieto, WS Bookwell oy, Porvoo, 2008, s.263.
- [21] Lindroos Veikko, Sulonen Martti, Veistinen Mauri, Uudistettu Miekk-ojan metallioppi, Otavan painolaitokset, Keuruu, 1986, s.841.
- [22] Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 3: normalisoidut ja normalisointivalssatut hitsattavat hienoraerakenneteräkset. Tekniset toimitusehdot, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN 10025-3, Helsinki, 2004, s.47.
- [23] Teräslajien määritelmät ja luokittelut, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN 10020, Helsinki, 2000, s.17.
- [24] Ansaharju Tapani, Koneenasennus ja kunnossapito, Wsoy oppimateriaalit oy, Helsinki, 2009, s.329.
- [25] Kiinnittimien lujuusominaisuudet. Seostamattomat ja seosteräkset. Osa 1: Ruuvien ja vaarnaruuvien lujuusluokat. Vakiokierre ja taajakierre, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 898-1, Helsinki, 2013, s.125.
- [26] Mitutoyo Metrology Handbook the Science of Measurement, Mitutoyo (UK) Ltd., England, 2007, p.259.
- [27] Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Geometriset toleranssit. Muodon, suunnan, sijainnin ja heiton toleranssit. Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 1101:2006, Helsinki, 2014, s.218.

- [28] Teroituskoulu, Sorvisoppi, verkkosivu saatavissa (viitattu 19.2.2017) <http://www.sorvisoppi.com/8>
- [29] Tekninen käsikirja, Sandvik Coromant, Elanders, Ruotsi, 2010, s.420.
- [30] E.Ihalainen, K.Aaltonen, M.Aromäki, P.Sihvonen, Valmistustekniikka, Otatieto Oy, Helsinki, 2000, s.490.
- [31] Sorvaus syöttö taulukko, Camcut Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 24.2.2017) <http://www.camcut.fi/SORVAUSSYOTTOTAULUKKO.pdf>
- [32] Pölyn aiheuttamat haitat, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 25.2.2017) [http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/poly-verkko/kpl\\_1\\_4.htm](http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/poly-verkko/kpl_1_4.htm)
- [33] Machine tools. Safety. Turning machines, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN ISO 23125, Helsinki, 2015, s.86.
- [34] Tony Griffiths, Emco Unimat & DB200 & SL1000 Lathes, verkkosivu saatavissa (viitattu 25.2.2017) <http://www.lathes.co.uk/unimat/>
- [35] Tony Griffiths, Emco - Unimat 3 - Unimat 4 Lathes, verkkosivu saatavissa (viitattu 25.2.2017) <http://www.lathes.co.uk/emco/page3.html>
- [36] Unimat PowerLine, The Cool Tool GmbH, verkkosivu saatavissa (viitattu 25.2.2017) <http://www.thecooltool.com/produkte/unimat-powerline/>
- [37] Frank J. Hoose, Jr., Mini-Lathe, Frank Hoose's Home Page, verkkosivu saatavissa (viitattu 25.2.2017) <http://www.mini-lathe.com/Default.htm>
- [38] Gerhard Pahl, Wolfgang Beitz, Koneensuunnitteluoppi, MET, Helsinki 1990, s.608.
- [39] Sherline History, Sherline Products, verkkosivu saatavissa (viitattu 3.4.2017) <http://sherline.com/about/sherline-history/>
- [40] Drehmaschine EDM 350DR, Rotwerk, verkkosivu saatavissa (viitattu 3.4.2017) <http://www.rotwerk.de/Metallb/drehen/edm350dr.html>
- [41] Yleistoleranssit. Osa 1: Ilman toleranssimerkintää olevien pituus- ja kulmamittojen toleranssit, Suomen standardisoimisliitto, SFS-EN 22768-1, Helsinki, 1993, s.10.
- [42] Tapered Roller Bearings, Single Row, SKF, verkkosivu saatavissa (viitattu 28.2.2017) <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller->

[bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html?designation=30203%20J2](http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?designation=30203%20J2)

- [43] Deep Groove Ball Bearings, Single Row, SKF, verkkosivu saatavissa (viitattu 28.2.2017) <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?designation=6203-2Z>
- [44] Premium 1.2210 (SilverSteel), Abrams Premium Steel, saatavissa (viitattu 4.3.2017) <http://www.premium-steel.eu/images/filedownloads/datasheets/L2.pdf>
- [45] Iglidur® Frequently Asked Questions, Igus Inc., verkkosivu saatavissa (viitattu 4.3.2017) <http://www.igus.com/wpck/12068/iglideFAQ>
- [46] Tapio Siirilä, Tuiri Kerttula, Koneturvallisuuden perusteet, Opiks-Tiimi, Helsinki, 2009, s.206.
- [47] Niilo Nykanen, Mechanically Generated Friction Fits in Power Transmission Couplings, R+W America, verkkosivu saatavissa (viitattu 14.3.2017) <http://blog.rw-america.com/blog/topic/flexible-couplings>
- [48] Tobias Wolf, Philipp Bergmann, Andreas Rimpel, Michael Wöber, Safety and Overload Couplings, Suddeutscher Verlag onpact GmbH, Munich, 2014, p.94.
- [49] Rotating Electrical Machines–Part 1: Rating and Performance, The International Electrotechnical Commission, IEC 60034-1, Geneve, 2010, s.51.
- [50] Simple (and dirty) Pulse Width Modulation (PWM) For Motor Speed Control, Eastern Geek Chein, verkkosivu saatavissa (viitattu 17.3.2017) <http://www.easterngeek.com/2008/06/simple-and-dirty-pulse-width-modulation.html>
- [51] 2SK2498 N-Channel MOS Field Effect Transistor, Datasheet Catalog, saatavissa (viitattu 17.3.2017) <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nec/2SK2498.pdf>
- [52] Austin Hughes, William Drury, Electric Motors and Drives Fundamentals, Types, and Applications, Elsevier Ltd, USA, 2013, p.439.
- [53] Low Voltage AC Drives ABB Micro Drives Drive Dimensioning Guide, ABB Ltd., saatavissa (viitattu 17.3.2017) [https://library.e.abb.com/public/7a1a0489e92296b7c1257bd0003daa6c/Micro\\_Drives\\_dimensioning\\_guide.pdf](https://library.e.abb.com/public/7a1a0489e92296b7c1257bd0003daa6c/Micro_Drives_dimensioning_guide.pdf)
- [54] Stepper Motor System Basics, Advanced Micro Systems LLC, verkkosivu saatavissa (viitattu 18.3.2017) [http://www.stepcontrol.com/stepping101/stepping101\\_Overview\\_1.html](http://www.stepcontrol.com/stepping101/stepping101_Overview_1.html)



- [55] The Modular UNIMAT CNC-System, The Cool Tool GmbH, verkkosivu saatavissa (viitattu 18.3.2017) <http://www.thecooltool.com/en/products/unimat-cnc/>
- [56] John Moran, Digital Readouts for the Mini-Lathe, GadgetBuilder, verkkosivu saatavissa (viitattu 18.3.2017) <http://www.gadgetbuilder.com/DRO.html>
- [57] Grizzly H6098 - 14" x 60" 2-Axis Digital Readout for Lathes, Grizzly Industrial Inc, verkkosivu saatavissa (viitattu 18.3.2017) [http://www.grizzly.com/products/14-x-60-2-Axis-Digital-Readout-for-Lathes/H6098?utm\\_campaign=zPage&utm\\_source=grizzly.com](http://www.grizzly.com/products/14-x-60-2-Axis-Digital-Readout-for-Lathes/H6098?utm_campaign=zPage&utm_source=grizzly.com)
- [58] Richard Raffan, Turning Wood, David J. Taunton Press, England, 2005, p.208.
- [59] Terästangot, Taloon Yhtiöt Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 22.3.2017) <http://www.taloon.com/terastangot/6509/dg>
- [60] Perävaunun navan laakeri 30203, Motonet Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 22.3.2017) <http://www.motonet.fi/fi/tuote/452409/Peravaunun-navan-laakeri-30203>
- [61] Pyöränlaakeri 6203-2RS "Koyo/SKF", Motonet Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 22.3.2017) <http://www.motonet.fi/fi/tuote/9821004/Pyoranlaakeri-6203-2RS-KoyoSKF>
- [62] Silver Steel Rod, 1000mm x 12mm OD, RS Components Ltd, verkkosivu saatavissa (viitattu 22.3.2017) <http://uk.rs-online.com/web/p/steel-rods-bars-tubes-hexagonals/4377196/>
- [63] Kierretangot lujuusluokka 8.8, Isojoen Konehalli Oy, verkkosivu saatavissa (viitattu 22.3.2017) <http://www.ikh.fi/fi/kiinnitystarvikkeet--heloitus/kierretangot/kierretangot-lujuusluokka-8-8>
- [64] Operating Instructions for the Emco-Unimat Model SL, EMCO GmbH, Austria, 1960, p.61.
- [65] Product Catalogue, The Cool Tool GmbH, saatavissa (viitattu 1.4.2017) <http://www.thecooltool.com/uploads/media/TheCoolTool-VSCAT.pdf>
- [66] 4400/4410 Lathe, Sherline Products, saatavissa (viitattu 1.4.2017) [http://sherline.com/Wordpress/wp-content/uploads/2015/01/5326\\_instructions\\_v8\\_web.pdf](http://sherline.com/Wordpress/wp-content/uploads/2015/01/5326_instructions_v8_web.pdf)
- [67] Model G8688 Mini Metal Lathe, Grizzly Industrial Inc, saatavissa (viitattu 1.4.2017) [http://cdn2.grizzly.com/manuals/g8688\\_m.pdf](http://cdn2.grizzly.com/manuals/g8688_m.pdf)

- [68] Precision lathe PD 400, PROXXON GmbH, verkkosivu saatavissa (viitattu 1.4.2017) <http://www.proxxon.com/en/micromot/24400.php>